

TEXTE

11/2015

Unterirdische Raumplanung Vorschläge des Umweltschutzes zur Verbesserung der über- und untertägigen Informationsgrundlagen, zur Ausgestaltung des Planungsinstrumentariums und zur nachhaltigen Lösung von Nutzungskonflikten.

Teilvorhaben 1: Geologische Daten

TEXTE 11/2015

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 16 103 1
UBA-FB 002138

**Unterirdische Raumplanung
Vorschläge des Umweltschutzes zur
Verbesserung der über- und untertägigen
Informationsgrundlagen, zur Ausgestaltung
des Planungsinstrumentariums und zur
nachhaltigen Lösung von Nutzungskonflikten**

Teilvorhaben 1: Geologische Daten

von

Dr. René Kahnt
Dr. Aron Gabriel
Carolin Seelig
Achim Freund
Antje Homilius

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

Abschlussdatum:

März 2014

Redaktion:

Fachgebiet I 3.5 Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen
Dr. Züleyha İyimen-Schwarz

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/unterirdische-raumplanung-vorschlaege-des-umwelt>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juli 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3711 16 103 1 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Ziel der Reduzierung der CO₂-Emissionen rückt die verstärkte Nutzung des geologischen Untergrundes ins Zentrum des Interesses. Durch diese neuen Anforderungen zur sicheren Speicherung bzw. dauerhaften Ablagerung von Stoffen im Untergrund kommt es verstärkt zu Konkurrenzen in der Nutzung geologisch geeigneter Strukturen. Deshalb sollten im Rahmen des Forschungsvorhabens im Teilvorhaben 1 die geologischen Grundlagen zur Nutzung des Untergrundes betrachtet werden. Dazu wurde zunächst analysiert, welche Nutzungen im Untergrund möglich sind und welche geologischen Voraussetzungen dafür vorhanden sein müssen. Bei den Nutzungen kann in die Kategorien Speicherung, Ablagerung, Gewinnung und unterirdische Bauwerke unterschieden werden. Im Anschluss daran wurde untersucht, welche Nutzungskonkurrenzen es gibt und welche gegenseitigen Beeinflussungen von einzelnen Nutzungen ausgehen. In diesem Zusammenhang wurde der Begriff des potenziellen Nutzungsraumes eingeführt, der ein mögliches Instrument für die unterirdische Raumplanung darstellt. Im Anschluss daran wurde anhand von drei Bundesländern untersucht, welche Daten für eine unterirdische Raumplanung nutzbar sind und welche Einschränkungen vorliegen. Schließlich wurden für zwei Beispielgebiete unterschiedliche Möglichkeiten zur Visualisierung von unterirdischen Nutzungsräumen und Nutzungskonkurrenzen erläutert.

Abstract

In the context of the expansion of renewable energy and the overall goal of reducing CO₂ emissions, much interest has focused on intensifying the use of the geological subsurface. These new demands for safe subsurface storage or deposition have led to increasing competition between different uses of suitable geological structures. Therefore, the aim of Part 1 of the research project was to investigate the geological basis for the utilization of the subsurface. It first analyzed what uses are generally possible and what geological conditions the different uses require. The uses can be categorized into storage, deposition, primary production and underground structures. It then explored what kinds of use conflicts exist and what mutual effects the different uses have. In this context, the concept of 'potential utilization zone' was proposed as a possible instrument for subsurface spatial planning. Subsequently, three federal states were used as case studies to determine which kinds of data are available for subsurface spatial planning and what kinds of restrictions exist in the use of these data. Finally, possibilities for visualizing subsurface utilization zones and conflicts between different uses were demonstrated using example data from two federal states.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

Anlagenverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	15
2	Summary.....	21
3	Geologische Grunddaten	27
3.1	Nutzbare geologische Strukturen im Untergrund.....	27
3.1.1	Allgemeines.....	27
3.1.2	Aquifere.....	27
3.1.3	Öl- und Gasvorkommen.....	27
3.1.4	Mineralische Rohstoffvorkommen	29
3.1.5	Braun- und Steinkohlenflöze.....	30
3.1.6	Salzstöcke und stratiforme Salzvorkommen	31
3.2	Geologische Kriterien zur Nutzung des Untergrundes	32
3.2.1	Einführung	32
3.2.2	Petrophysikalische Kriterien	33
3.2.3	Strukturgeologische Kriterien.....	36
3.2.4	Geochemische Kriterien	38
3.2.5	Druck und Temperatur.....	39
3.2.6	Anthropogene Historie/ Altbergbau	40
3.3	Unterirdische Nutzungsarten	41
3.3.1	Begriffsbestimmung.....	41
3.3.2	Gewinnung.....	42
3.3.3	Speicherung	53
3.3.4	Ablagerung	59
3.3.5	Sonstige unterirdische Bauwerke	61
3.4	Nutzungskonkurrenzen.....	61
4	Unterirdische Nutzungskonkurrenzen.....	64
4.1	Einleitung.....	64
4.2	Grundlagen.....	64

4.2.1	Allgemein.....	64
4.2.2	Geochemische Beeinflussungen	65
4.2.3	Geomechanische Beeinflussungen.....	65
4.2.4	Geohydraulische Beeinflussungen	65
4.2.5	Geothermische Beeinflussungen	66
4.3	Typen der Beeinflussung nach Nutzungen	66
4.3.1	Allgemeines.....	66
4.3.2	Erschließungskonzepte	67
4.3.3	Speicherung	69
4.3.4	Ablagerung	70
4.3.5	Gewinnung.....	72
4.3.6	Unterirdische Bauwerke	76
4.3.7	Zusammenfassung.....	76
4.4	Nutzungskonkurrenzen.....	77
4.4.1	Grundannahmen und Definitionen: Nutzungsraum, Struktur, Stockwerk, Feld, etc.....	77
4.4.2	Arten von Nutzungskonkurrenzen.....	79
4.4.3	Lokale Konkurrenzen.....	82
4.4.4	Konkurrenzen innerhalb von Stockwerken/ Strukturen	83
4.4.5	Konkurrenzen in der stockwerksweisen Nutzung.....	84
4.4.6	Konkurrenz mit Nutzungen an der Erdoberfläche	89
4.4.7	Welche Strukturen sind für welche Nutzung geeignet?.....	90
4.4.8	Vorschlag zur Festlegung von Kriterien.....	92
5	Geologische Daten.....	98
5.1	Einleitung.....	98
5.2	Vorgehensweise	98
5.2.1	Schritt 1: Recherche und Aufbereitung zur Datenlage untergrundbezogener Geodaten.....	98
5.2.2	Schritt 2: Experteninterviews.....	99
5.3	Geodaten.....	100
5.3.1	Geologische Karten und geologische Spezialkarten	100
5.3.2	Bohrungsberichte und Schichtenverzeichnisse	101
5.3.3	Geologische Schnitte.....	101
5.3.4	Ergebnisse reflektionsseismischer Untersuchungen	101

5.3.5	Dreidimensionale-Modelle	102
5.4	Gesetzliche Grundlagen zur Übermittlung von Daten.....	102
5.4.1	Bundesberggesetz.....	103
5.4.2	Lagerstättengesetz.....	103
5.5	Gesetzliche Bestimmungen zum Datenzugang	104
5.5.1	INSPIRE Richtlinie und Geodatenzugangsgesetz	104
5.5.2	Umweltinformationsgesetz	106
5.5.3	Informationsfreiheitsgesetz.....	107
5.6	Organisationsstruktur in der Datenverwaltung.....	107
5.6.1	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	107
5.6.2	Staatliche Geologische Dienste (SGD).....	107
5.6.3	Bergbehörden	109
5.7	Fallbeispiele	109
5.7.1	Sachsen	109
5.7.2	Bayern.....	119
5.7.3	Niedersachsen.....	125
5.7.4	Themenbezogene Datenportale	129
5.8	Expertengespräche	139
5.8.1	Allgemein.....	139
5.8.2	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen.....	140
5.8.3	Sächsisches Oberbergamt (SOBA)	141
5.8.4	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie – Niedersachsen.....	142
5.8.5	Landesamt für Umwelt – Bayern.....	143
5.8.6	Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik.....	143
5.8.7	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	144
6	Darstellung im 3D-Raum	146
6.1	Einleitung.....	146
6.2	Darstellungsarten.....	147
6.2.1	Definition von Nutzungsräumen im dreidimensionalen Raum.....	147
6.2.2	Erstellung und Speicherung von Körpern im 3D-Raum.....	147
6.2.3	Zweidimensionale Visualisierung	149
6.2.4	Dreidimensionale Visualisierung	149
6.3	Visualisierung von Nutzungsräumen am Beispiel Sachsen.....	150

6.3.1	Herkunft und Struktur der Daten.....	150
6.3.2	Aufbereitung der geologischen Datengrundlage	150
6.3.3	Visualisierung von Nutzungsräumen im Modellgebiet.....	155
6.4	Visualisierung von Nutzungsräumen am Beispiel Niedersachsen	160
6.4.1	Herkunft und Struktur der Daten.....	160
6.4.2	Aufbereitung der geologische Datengrundlage.....	161
6.4.3	Visualisierung von Nutzungsräumen im Modellgebiet.....	163
6.5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Darstellung von Nutzungsräumen ...	169
7	Ergebnisse.....	171
7.1	Geologische Grundlagen.....	171
7.2	Unterirdische Nutzungskonkurrenzen.....	171
7.3	Geologische Daten	173
7.3.1	Rechercheergebnisse	173
7.3.2	Ergebnisse der Expertengespräche	175
7.4	Darstellung	177
8	Bewertung	179
9	Gesamtfazit.....	183
10	LITERATURVERZEICHNIS.....	184

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Schematische Darstellung von Mutter- und Speichergesteinen und den Lagerstätten unterhalb der Fallenstrukturen.....	28
Abb. 2:	Ausstrich eines Steinkohlenflözes in Point Aconi, Nova Scotia.....	30
Abb. 3:	Schematische Darstellung der Diapirbildung	32
Abb. 4:	Beispiel für die Korrelation zwischen Porositäten und Permeabilitäten aus Kernuntersuchungen im Südwestdeutschen Molassebecken.....	34
Abb. 5:	Schematische Darstellung typischer Störungsgeometrien.....	37
Abb. 6:	Schematische Darstellung faltentektonischer Elemente	38
Abb. 7:	Die Pinge in Altenberg als Folge des jahrhundertelangen Altbergbaus	41
Abb. 8:	Schematische Darstellung eines Tiefbaus auf gangförmige Rohstoffe	43
Abb. 9:	Prinzip der Untertagevergasung.....	45
Abb. 10:	Für hydrothermale Geothermie nutzbare Heißwasseraquifere über 60 °C (orange) und über 100 °C (rot).....	49
Abb. 11:	Regionen in Deutschland mit Rotliegend Vulkaniten mit Temperaturen > 100 °C und Kristallingestein in Teufen < 3.000 m.	51
Abb. 12:	Übersicht über die Untertage-Gasspeicher in Deutschland	54
Abb. 13:	Regionen mit potentiellen Speicheraquiferen	55
Abb. 14:	Regionen mit für Kavernen geeigneten Salzvorkommen in Deutschland.....	57
Abb. 15:	Sitz der geologischen Dienste und Zuordnung zu den einzelnen Bundesländern.....	108
Abb. 16:	Neu bearbeitete geologische Karten 1:25.000 ab 1997	110
Abb. 17:	Übersicht der geologischen Karten der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen und Lithofazieskarten Quartär	111
Abb. 18:	Übersicht der Lithofazieskarten Tertiär 1:50.000	112
Abb. 19:	Kartenausschnitt aus der geothermischen Potenzialkarte Sachsen	113
Abb. 20:	Hohlraumverdachtskarte (Übersichtskarte) von Sachsen.....	115
Abb. 21:	Interaktiver Kartendienst von Sachsen mit spezifischen Themenbereichen.....	116
Abb. 22:	Einteilung Sachsens in 13 Modelleinheiten	117
Abb. 23:	Übersicht über die Struktur der Aufschlussdatenbank UHYDRO (LfULG 2013 d).....	118
Abb. 24:	Übersicht den Arbeitsstand der hydrogeologischen Spezialkartierung Sachsen (LfULG 2013 e).....	119
Abb. 25:	Übersicht zu regionalen Sonderkarten (grüne Markierung).....	120
Abb. 26:	Verfügbare Kartenblätter der geologischen Karten von Bayern im Maßstab 1 : 25.000	121

Abb. 27: GeoFachdatenAtlas/Bodeninformationssystem Bayern (Übersichtskarte zu Illustrationszwecken ohne Legende)	122
Abb. 28. Auszug aus dem Informationssystem Oberflächennahe Geothermie, Bohrrisiken (Übersichtskarte zu Illustrationszwecken ohne Legende).....	123
Abb. 29: Auszug aus der Übersicht zur 3D-Modellierung in Bayern	124
Abb. 30: Beispielhafte Darstellung eines strukturgeologisches 3D-Modells der Oberfläche. Gut erkennbar sind die Schichtgrenzen ausgesuchter geologischer Schichten, sowie der Verlauf von steilstehenden Störungen im Kartierungsgebiet. (Schematische Darstellung ohne Legende).....	125
Abb. 31: NIBIS® Kartenserver des LBEG	127
Abb. 32: Beispiel der Anwendung der Rohstoffsicherungskarte	127
Abb. 33: Ausgabebeispiel für Bohrungsdaten im Kartenserver.....	128
Abb. 34: Basisfläche der Unterkreide: links als Isolinienplan aus Baldschuhn et al. 2001, rechts als Raumfläche des 3D-Modells mit 5-facher Überhöhung.....	129
Abb. 35: Beispielhafte Ansicht des „GeotIS“ (Übersichtskarte ohne Legende; Quelle: Geotis)..	131
Abb. 36: Lage vorhandener Seismik in Bayern hinterlegt mit der Verbreitung hydrothormaler Aquifere (Quelle: Geotis)	131
Abb. 37: Hydrothermal nutzbare Bereiche unterlegt mit Salzstrukturen in Norddeutschland (Quelle: Geotis)	132
Abb. 38. Vertikalschnitt im Rheintalgraben	132
Abb. 39: Auszug aus dem FIS-GP: Beispielhafte Darstellung der Lage von Temperaturmessungen und Graviemetriemessungen in einem ausgewählten Gebiet	134
Abb. 40: Auswahlmaske im FIS-GP zur Messdaten.....	134
Abb. 41: Abfrage von Gravimetriemessungen aus Abb. 39.	135
Abb. 42: Auszug aus dem Datenblatt einer ausgewählten Messung.....	136
Abb. 43: Mitglieder im KW-Verbund	138
Abb. 44: Farbgradierte Darstellung (in m NN) des digitalen Geländemodells, welches eine wesentliche Datengrundlage für das Modell darstellt. Gut zu erkennen sind die steilen Hänge, die das Tal im Südwesten und im Nordosten begrenzen.....	152
Abb. 45: Geologische Karte des Modellgebietes mit einer Darstellung der unterschiedlichen oberflächennah anstehenden geologischen Schichten des 3D-Modells des Elbtals bei Meißen. Wasserleiter sind in grün, Wasserstauer in rot und das Grundgebirge in blau dargestellt.	153
Abb. 46: Übersicht über die verwendeten Schichten des Modells in diesem Zwischenbericht. Der Grundwasserstauer wird in rot und der unterlagernde Grundwasserleiter in grün dargestellt. Die beiden wichtigsten Kreideschichten werden in verschiedenen Blautönen dargestellt	154

Abb. 47: Schnitt durch das 3D-Modell des Elbtals. Ganz oben befindet sich der Wasserstauer (blau), der von einem ausgedehnten Wasserleiter (gelb) unterlagert wird. Darunter folgen die beiden Kreideschichten (grün), die gegen das kristalline Grundgebirge (rot) auslaufen.....	155
Abb. 48: Lage der Beispielnutzungen im Modellgebiet. GWN – blau, GSp – rot, KW – grün, BB – gelb.	156
Abb. 49: Lage der Beispielnutzungen relativ zueinander im 3D-Raum (Blickrichtung Nordosten).....	157
Abb. 50: Lage der Beispielnutzungen und der Kreideschichten im 3D-Raum (Blickrichtung Nordwesten).....	157
Abb. 51: Konturkarte der Oberkante der Grundwassernutzung	158
Abb. 52: Konturkarte der Mächtigkeit der Grundwassernutzung.....	159
Abb. 53: Räumliche Definition zweier quaderförmiger Nutzungsräume über ihre Eckpunkte. Es sind jeweils Oberkante (OK) und Unterkante (UK) in m Höhe über Normal Null angegeben.	160
Abb. 54: Übersicht über die TK100-Blätter des GTA3D. Blatt 2714 Bremerhaven wurde rot hervorgehoben. Die vorhandenen Salzkissen sind in blau dargestellt.	161
Abb. 55: Übersicht über das gesamte 3D-Modell des TK100-Blattes 2714 Bremerhaven; Blickrichtung ist nach Südosten. Darstellung zweifach überhöht. Die Aussparung im Quartär entspricht dem Jadebusen bei Bremerhaven. Die Salzstrukturen des Zechstein sind in hellblau dargestellt und werden in der Legende nicht aufgeführt.....	162
Abb. 56: Übersicht über Lage und Form der Salzstrukturen im Modellgebiet. Die Ansicht entspricht der Ansicht in Abb. 55.....	163
Abb. 57: Projektion der definierten Nutzungsräume im Modellgebiet auf eine 2D-Kartendarstellung. Fläche und Tiefe Geothermie sind, wo die entsprechenden Schichten vorhanden sind, flächendeckend verbreitet. Gasspeicherung ist auf die Salzstrukturen beschränkt und für eine Kohlenwasserstoffförderung wurde exemplarisch nur ein Nutzungsraum definiert.	164
Abb. 58: Darstellung der Nutzungsräume im 3D-Raum. Blickrichtung ist Richtung NW. Darstellung zweifach überhöht.....	165
Abb. 59: Darstellung der Nutzungsräume für Aussolung und Gasspeicherung (gelb transparent) und die Kohlenwasserstoffförderung (rot) und die assoziierten Salzstrukturen.....	166
Abb. 60: Position der einzelnen Nutzungsräume der Aussolung und Gasspeicherung. Definition der Oberkante durch die Teufenangabe der definierenden Eckpunkte.....	167
Abb. 61: Position der einzelnen Nutzungsräume der Aussolung und Gasspeicherung. Definition der Unterkante durch die Teufenangabe der definierenden Eckpunkte..	168
Abb. 62: Lage der Oberkante des Nutzungsraumes für die tiefe Geothermie. Definition durch Konturkarte.....	169

Abb. 63: Lage der Unterkante des Nutzungsraumes für die tiefe Geothermie. Definition durch Konturkarte..... 169

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zusammenhang zwischen Nutzung und nutzbaren geologischen Strukturen bzw. Vorkommen 81

Tab. 2: Überblicksdarstellung der Nutzungen (rot hinterlegt), die möglicherweise zu einer Einschränkung in Nutzungen von darüber oder darunter befindlichen Stockwerken führen. 88

Tab. 3: Übersicht zur Datenlage im FIS-Geophysik 133

Abkürzungsverzeichnis

BBergG	Bundesberggesetz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BIS	Bodeninformationssystem Bayern
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
FIS-GP	Fachinformationssystem Geophysik
GeotIS	Geothermisches Informationssystem Deutschland
GeoZG	Geodatenzugangsgesetz
GK25	Geologische Karte Sachsens 1:25.000
GK50	Geologische Karte Sachsens 1:50.000
IFG	Informationsfreiheitsgesetz
INSPIRE	EU-Richtlinie zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der europäischen Gemeinschaft - Infrastructure for Spatial Information in the European Community
IOG	Informationssystem oberflächennahe Geothermie, Bayern
Kf-Wert	Durchlässigkeitsbeiwert in m/s, ermöglicht Aussagen zur Permeabilität von Gesteinen
KW-FIS	Kohlenwasserstoff Fachinformationssystem
LagerStG	Lagerstättengesetz
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen
LfU	Landesamt für Umwelt, Bayern
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Sachsen
LIAG	Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik
LKQ50	Lithofazieskarte Quartär Sachsen 1:50.000
LKT50	Lithofazieskarte Tertiär Sachsen 1:50.000
SGD	Staatlich geologische Dienste
UIG	Umweltinformationsgesetz
W.E.G.	Wirtschaftsverband Erdöl, Erdgas
ZGI	Zentrales Geologisches Institut

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Mögliche Nutzungen nach Struktur und relevanten Kriterien	188
Anlage 2	Typen möglicher Beeinflussungen	191
Anlage 3:	Beispiele öffentlich zugänglicher Geodaten und Leitfaden für die Experteninterviews.....	194
Anlage 3.1	2D und 3D Seismik des KW-FIS des LBEG	195
Anlage 3.2	Bohrungen des KW-FIS des LBEG.....	197
Anlage 3.3	Bohrungen mit Abweichdaten des KW-FIS des LBEG	199
Anlage 3.4	Gravimetriedaten des KW-FIS des LBEG.....	201
Anlage 3.5	Erdöl- und Erdgasfelder des KW-FIS des LBEG	203
Anlage 3.6	Leitfaden zur Expertenbefragung	205

1 Zusammenfassung

Unterirdische geologische Nutzungen sind nicht mehr nur klassische Bergbauvorhaben wie der Untertage Abbau von Rohstoffen. Vielmehr haben sich mit dem technischen Fortschritt auch neue Möglichkeiten entwickelt, den Untergrund bzw. Ressourcen im Untergrund zu nutzen.

So ist z. B. die Nutzung der flachen Geothermie zur Klimatisierung von Häusern längst gängige Praxis, während vor allem die tiefe Geothermie als Mittel der Energieerzeugung immer mehr in den Fokus privater Investoren rückt. Darüber hinaus wird der Untergrund auch zunehmend stärker als Energiespeicher, sei es durch die Einlagerung von Energierohstoffen, wie Öl und Gas oder die Einlagerung von Druckluft, genutzt.

Da konventionelle Öl- und Gasvorräte knapper werden, wird nun auch vermehrt auf unkonventionelle Vorräte, mit teilweise erheblichen Konsequenzen für die Umwelt, zurückgegriffen. Aber auch für die Entsorgung umweltschädlicher Stoffe wie Kohlenstoffdioxid, sowie radioaktiver und anderer industrieller Abfälle ist eine dauerhafte Ablagerung im Untergrund denkbar.

Man kann den Untergrund jedoch nicht als unendliche Ressource verstehen. Vielmehr sind die Nutzungsmöglichkeiten an unterschiedliche geologische Strukturen und Parameter gebunden, deren Qualitäten für eine mögliche Nutzung der Ressourcen entscheidend sind.

Die vermehrte Konkurrenz im Untergrund wird durch klima- und energiepolitische Ziele vorangetrieben aber auch die Sicherung von sich weltweit verknappenden Rohstoffen wirkt als Motor für unterirdische Vorhaben.

Diese, durch den gesellschaftlichen und globalen Wandel initiierten, unterschiedlichen Ansprüche führen dazu, dass sowohl unterirdische Nutzungen miteinander konkurrieren, sich gegenseitig beeinflussen aber auch oberirdische Planungen zunehmend Handlungsdruck erfahren.

Bei der Koordination unterschiedlicher Ansprüche an der Oberfläche sind raumplanerische Instrumente maßgebliche Werkzeuge zur Steuerung der Flächenentwicklung. Versucht man die Raumplanung auf den Untergrund zu beziehen, müssen neue Herausforderungen beachtet werden, welche Entscheidungen in dreidimensionalen Räumen erfordern.

Vor diesem Hintergrund sind unterirdische Konflikte sowie Konflikte zur Oberfläche zu untersuchen. Dabei sind es vor allem die Kriterien unterirdischer Nutzungen, welche detailliert betrachtet werden müssen um aufzuzeigen, welche Nutzungen unter gegebenen Bedingungen möglich sind.

Im Folgenden werden zunächst potentiell geeignete geologische Strukturen beschrieben und unterirdischen Nutzungen zugeordnet. Danach werden geologische Kriterien im Kontext geologischer Strukturen und Nutzungen betrachtet. Die unterirdischen Nutzungen lassen sich in vier prinzipielle Typen untergliedern: Speicherung, Ablagerung, Gewinnung und unterirdische Bauwerke. Dabei werden folgende Nutzungsarten einbezogen:

- Speicherung
 - Gasspeicherung (CH₄/H₂, Druckluft)
- Ablagerung
 - Carbon Capture and Storage (CCS)

- Untertage-Deponie (inklusive Endlager und radioaktiver Abfälle)
- Soleverpressung und -versenkung
- Gewinnung
 - Grundwassernutzung (Trink-, Brauch-, Mineral-, Heil- und Thermalwasser)
 - Oberflächennahe Geothermie
 - Hydrothermale Geothermie
 - Petrothermale Geothermie
 - Wärmespeicher
 - Öl- und Gasförderung (konventionell/unkonventionell)
 - Abbau fester Rohstoffe
- Unterirdische Bauwerke
 - Unterirdische Pumpspeicherwerke
 - Technische Bauwerke

Bei der Betrachtung der potentiell geeigneten geologischen Strukturen und möglichen unterirdischen Nutzungen spielt es grundsätzlich keine Rolle, ob diese Strukturen unterhalb des Meeresbodens (also im Küstenmeer = 12 Seemeilen-Zone oder ausschließlichen wirtschaftlichen Zone = AWZ) liegen. Jedoch kommen derzeit einige Nutzungen auf Grund von wirtschaftlichen Aspekten unterhalb des Meeresbodens nicht in Betracht (z. Bsp. Untertagedeponien, Geothermie). Vordergründig wird im marinen Bereich derzeit die Rohstoffgewinnung durchgeführt.

Diese Zonen haben eine unterschiedliche raumordnerische Zuordnung, da sie zum einen den Küstenländern (12-sm-Zone) zum anderen dem Bund (AWZ) unterstehen. Bei den Wechselwirkungen der oberirdischen mit den unterirdischen Nutzungen sind diese Zonen mit ihren spezifischen Raumnutzungen wie Schifffahrt, Versorgungsleitungen, Fischerei etc. zu beachten.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der geologischen Grundlagen in Kapitel 2 wurden weiterführend unterirdische Nutzungen analysiert. Es wird unterschieden zwischen geochemischen, geomechanischen, geohydraulischen und geothermischen Auswirkungen die von Nutzungen des Untergrundes ausgehen können. Auf dieser Grundlage wird für die wesentlichen bekannten Nutzungen analysiert, welche Auswirkungen im bestimmungsgemäßen und im nicht bestimmungsgemäßen Betrieb von der Nutzung ausgehen. Diese Auswirkungen wurden in Anlage 2 übersichtlich in Form einer Matrix zusammengestellt.

In einem weiteren Schritt wurden die Nutzungskonkurrenzen analysiert. Dabei wird festgestellt, dass es unterschiedliche Arten von Nutzungskonkurrenzen gibt: Konkurrenzen an einem Ort, innerhalb einer Struktur bzw. eines Stockwerkes, Konkurrenzen in der stockwerksartigen Nutzung sowie Konkurrenzen mit Nutzungen an der Erdoberfläche.

Als zentrales Element wurde der Begriff des Nutzungsraumes eingeführt. Darunter wird der dreidimensionale Bereich innerhalb einer geologischen Struktur zusammen mit der notwendigen Pufferzone um diesen Bereich herum verstanden, der durch eine oder mehrere gleichartige Nutzungen (Projekträume) beeinflusst wird. Am Rande des Nutzungsraumes ist die Höhe der

(geohydraulischen, geochemischen, geothermischen und geomechanischen) Beeinflussungen im bestimmungsgemäßen Betrieb für alle anderen unterirdischen Nutzungen akzeptabel. Der Nutzungsraum ist sowohl von den lokalen geologischen Bedingungen als auch von der Art und dem Umfang der Nutzung abhängig.

Unter diesem Blickwinkel schließen sich konkurrierende Nutzungen im gleichen Nutzungsraum oder in sich überlappenden Nutzungsräumen aus. In diesem Sinne sind solche Nutzungen neben- oder übereinander möglich, deren Nutzungsräume sich nicht überlappen.

Der potenzielle Nutzungsraum muss im Rahmen von Detailuntersuchungen durch den geologischen Fachexperten so festgelegt werden, dass die Auswirkungen am Rand des potenziellen Nutzungsraumes akzeptabel sind. Für Nutzungskonkurrenzen mit Schutzgütern an der Erdoberfläche ist es notwendig, den nicht bestimmungsgemäßen Betrieb einzubeziehen.

Es wurde festgestellt, dass es aus geologischer Sicht nicht sinnvoll ist, pauschal Prioritäten für einzelne Nutzungen festzulegen, da es stets auf die konkreten geologischen Bedingungen ankommt.

Schließlich werden erste Empfehlungen für Kriterien für die geochemischen, geomechanischen, geohydraulischen und geothermischen Beeinflussungen gemacht. Sollte dem Vorschlag der vorgeschlagenen Kriterien gefolgt werden, so ist dazu ein breiter Konsens unter Einbeziehung der staatlichen geologischen Dienste herzustellen. Zudem wird die Herangehensweise bei Auswirkungen auf die Erdoberfläche erläutert. Hierbei leiten sich Kriterien aus den vorhandenen Umweltgesetzmäßigkeiten ab. Allerdings kann auch unter diesem Blickwinkel kein pauschaler Ausschluss von bestimmten Nutzungen erfolgen. Dies obliegt stets Detailbetrachtungen und insbesondere Risikoanalysen.

Im dritten thematischen Abschnitt wurde ausgehend von drei Fallbeispielen in Form von drei Bundesländern, eine umfangreiche Recherche nach Rechtsvorschriften sowie nach Datenmaterial über den Untergrund durchgeführt. Dies wurde anschließend durch Expertengespräche ergänzt, um ein Bild über die Geodatenlage für Deutschland zu erlangen.

Als Schnittstelle zwischen dem geologischen Fachexperten (bspw. SGD) und den Raumplanern wird die Lage (= dreidimensionale Körper) von potenziellen Nutzungsräumen für die unterschiedlichen Nutzungen im dreidimensionalen unterirdischen Raum gesehen. Diese Nutzungsräume stellen mögliche nutzbare Bereiche einschließlich der Auswirkungsbereiche dar. Bei einigen Nutzungsarten, insbesondere bei der Ablagerung oder Speicherung von Flüssigkeiten und Gasen im Untergrund, werden Auswirkungen häufig durch geologische Barrieren (bspw. Stauer) beschränkt. Die Bereiche, die zusätzlich zu dem direkt genutzten Bereich noch in den potenziellen Nutzungsraum einzubeziehen sind, um die Auswirkungen auf ein akzeptables Maß zu begrenzen, werden als Pufferbereiche bezeichnet.

Neben der Lage der potenziellen Nutzungsräume als dreidimensionale Körper im Raum sollten sie auch quantitativ charakterisiert werden (speicherbare Mengen, gewinnbare Rohstoff- oder Energiemengen, etc.). Diese dreidimensionalen Körper, die die potenziellen Nutzungsräume für jede mögliche Nutzung definieren, können entweder auf der Grundlage dreidimensionaler von Fachexperten bewerteter geologischer Modelle oder in Form von Potenzialkarten für die Raumplaner bereitgestellt werden. Die Nutzungsräume werden sich dabei für diejenigen Nutzungen die in Nutzungskonkurrenz stehen, teilweise oder ganz überdecken. Anhand dieser Informationen nimmt der Raumplaner unter Einbeziehung politischer und ökonomischer As-

pekte eine Priorisierung vor. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich in vielen Fällen erst im Rahmen detaillierter Projektstudien und Erkundungsarbeiten zeigen wird, ob eine vorgesehene Nutzung tatsächlich möglich ist oder nicht. Dies stellt einen entscheidenden Unterschied zur oberirdischen Raumplanung dar.

Die für die Raumplanung benötigten Nutzungsräume in Form von dreidimensionalen Körpern müssen von den geologischen Fachexperten auf der Grundlage von Geodaten erarbeitet werden. Die Darstellung der Nutzungsräume kann entweder in dreidimensionalen Modellen oder aber in Form von Potenzialkarten erfolgen.

Es wurde dargelegt, welche Gesetze der Informationsübermittlung von Untergrunddaten dienen und welche den Zugang zu Geodaten regeln. Die Recherche zeigte, dass dies insbesondere das Geodatenzugangsgesetz, das Umweltinformationsgesetz und das Informationsfreiheitsgesetz sind. Zwei Gesetze regeln die Übergabe der Daten von der Projektebene zur Verwaltung auf Landesebene, das Lagerstättengesetz und das Bundesberggesetz. Die Daten werden an den entsprechenden Stellen gehalten. Eine Weitergabe unterliegt den vorgenannten Bestimmungen und der Zustimmung des Dateneigentümers. Die Behörden der Bundesländer können die Daten unter Berücksichtigung der Eigentumsrechte für die unterirdische Raumplanung eingeschränkt nutzen. In den gewählten Fallbeispielen Sachsen, Niedersachsen und Bayern stehen relevante geologische Karten und geologische Spezialkarten zur Verfügung. Diese werden durch die 3D-Untergrundmodellierungen ergänzt, welche sich im Aufbau befinden. Die 3D-Untergrundmodelle müssen noch unter Nutzung der Fachexpertise der SGD hinsichtlich der Nutzungsmöglichkeiten der geologischen Strukturen interpretiert werden. Diese interpretierten 3D-Untergrundmodelle sowie die vorhandenen Potenzialkarten bilden eine nutzbare Grundlage für die unterirdische Raumplanung.

Die Expertengespräche zeigten die Kompetenz- und Datenverteilung von Geodaten in den ausgewählten Bundesländern. Ausgehend von den Gesprächen wurde deutlich, dass die in Privatbesitz befindlichen Daten in der Hand der jeweiligen Eigentümer bleiben und somit grundsätzlich nicht frei zugänglich sind. Innerhalb der Verwaltung der Länder kann ein Datenaustausch erfolgen. Zwischen den Bundesländern geschieht dies nur nach vorheriger Absprache bzw. im Rahmen des Kohlenwasserstoffverbundes, dessen Mitglieder einen Datenpool bilden. Eine Weitergabe bzw. ein Austausch mit Bundesbehörden ist nicht vorgesehen oder gesetzlich geregelt. Die Daten können im Allgemeinen unter vorheriger Zustimmung der Eigentümer eingesehen und anschließend erworben werden. Insgesamt stehen der Schutz von Privateigentum sowie die Wahrung von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen der Datenfreigabe von privaten Daten entgegen.

Die in den Fachgesprächen befragten Experten vertraten mehrheitlich die Auffassung, dass eine dreidimensionale unterirdische Raumplanung aufgrund der hohen Anforderungen an Informationen sowie der Informationsdichte, vor große Ansprüche gestellt wird. Grundsätzlich ist die Datenlage in Deutschland sehr heterogen. Die Art und der Umfang der vorhandenen Daten ist in hohem Maße von den in der Vergangenheit durchgeführten Aufsuchungen und Gewinnungen von Rohstoffen abhängig. Für eine Reihe von Nutzungsarten (z. B. Gasspeicherung/Ablagerung in salinen Aquiferen, Öl- und Gasgewinnung, oberflächennahe Geothermie, hydrothermale Geothermie) ist die Datenlage für eine unterirdische Raumplanung grundsätzlich als gut anzusehen. Allerdings fehlen für einige dieser Nutzungsarten entsprechende Modelle bzw. Potenzialkarten. Um einen uneingeschränkten Datenzugang für die unterirdische Raumplanung zu schaffen, müsste das Lagerstättengesetz entsprechend angepasst werden, so-

dass eine Datenverwendung im Sinne des öffentlichen Interesses explizit ermöglicht wird. Zum anderen müsste ein begründetes öffentliches Interesse an der unterirdischen Raumplanung bestehen. Dies könnte mit einer Klausel in den Grundsätzen § 2 des Raumordnungsgesetzes festgesetzt werden. Somit würde dies zum Gegenstand der Raumordnung.

Die gegenwärtige vorhandenen Modelle bzw. Potenzialkarten stellen jeweils den aktuellen Bearbeitungsstand dar, der auf den nutzbaren Daten beruht. Bei der Erstellung der Modelle und Potenzialkarten wurden dabei auf der Grundlage von Vereinbarungen mit dem Dateneigentümern in der Regel auch Daten benutzt, die im Privatbesitz sind. Dabei wurden lediglich grundlegende Informationen für die Modelle bzw. Potenzialkarten verwendet, während die Details weiterhin unzugänglich bleiben. Ein Beispiel dafür ist das System GeotIS, welches die Informationen zum tiefen geothermischen Potenzial zusammenfasst. Es existieren auch für weiteren Nutzungsarten und Regionen die Daten, die für die Erstellung der entsprechenden Potenzialkarten oder dreidimensionalen Modelle nutzbar sind. Wie sich anhand der erfolgreich umgesetzten Potenzialkarten zeigt, können diese auf der Grundlage frei verfügbarer Daten und auf der Grundlage von im Privatbesitz befindliche Daten (bei entsprechenden Vereinbarungen zur Nutzung) erstellt werden. Es wird eingeschätzt, dass die bereits vorhandenen Potenzialkarten für die unterirdische Raumplanung genutzt werden können. Damit können die Grundlagen für die unterirdische Raumplanung schrittweise erarbeitet werden. Als kritisch werden hierbei einerseits die Zugriffsmöglichkeiten auf die privaten Daten und andererseits die notwendigen Ressourcen an geologischer Fachexpertise zur Erstellung der für die unterirdische Raumplanung notwendigen interpretierten Modelle oder Potenzialkarten eingeschätzt. Unter diesem Blickwinkel ist es für die unterirdische Raumplanung auch relevant, dass aufgrund der für bestimmte Nutzungen benötigten geologischen Strukturen, manche Nutzungen in einigen Bundesländern über große Bereiche ausgeschlossen werden können.

Insgesamt wird eingeschätzt, dass zumindest bezogen auf einzelne Regionen eine unterirdische Raumplanung möglich ist. Für einzelne Regionen existieren bereits nutzbare Potenzialkarten bzw. auch dreidimensionale Untergrundmodelle. Letztere müssten allerdings noch unter dem Blickwinkel der unterschiedlichen Nutzungen wiederum von geologischen Fachexperten ausgewertet werden, um potenzielle Nutzungsräume für alle in Frage kommenden Nutzungen zu erarbeiten. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass meist eine hohe Datenunsicherheit vorliegt. Die Datenlage ist bei oberflächennahen Nutzungen oder in Bereichen in denen intensive Nutzungen stattgefunden haben, in der Regel besser als im restlichen tiefen Untergrund. Damit kann die tatsächliche Machbarkeit einer Nutzung häufig nur auf der Grundlage von Detailerkundungen nachgewiesen werden, d. h. erst auf Projektebene.

Um mögliche Wirkungen von Nutzungen abzuschätzen, wurden die Begriffe Nutzungsraum und Projektraum eingeführt. Diese ermöglichen eine Abschätzung von bestimmungsgemäßem und nicht bestimmungsgemäßem Betrieb.

Die als Schnittstelle zwischen den geologischen Fachexperten und den Raumplanern vorgesehenen potenziellen Nutzungsräumen sind für alle möglichen Nutzungen unter Einbeziehung der für diesen Zweck nutzbaren Daten von den geologischen Fachexperten mit Hilfe von 3D-Modellen zu erstellen und hinsichtlich des möglichen Umfangs der Nutzungen zu charakterisieren. Diese potenziellen Nutzungsräume bilden die Grundlage des Abwägungsprozesses für den Raumplaner. Dabei sollten die geometrischen Aspekte der Abwägung durch den Raumplaner (Überlappungen und Durchdringungen von Nutzungsräumen) ebenfalls anhand von 3D-Modellen analysiert werden.

Die potenziellen Nutzungsräume können entweder in Form von detaillierten 3D-Körpern oder aber in Form von vereinfachten Körpern (bspw. Quader) definiert werden. Zwar sind die einfachen Körper auch einfacher handhabbar, jedoch wird die Verwendung von detaillierten Körpern empfohlen, um den unterirdischen Raum auch möglichst gut auszunutzen. Die Ursache liegt darin, dass einfache Körper immer die gesamte nutzbare Struktur umschließen müssen und folglich auch Bereiche außerhalb der Struktur einschließen. Diese Empfehlung beruht auch auf der Tatsache, dass die 3D-Modellierungswerkzeuge sehr hohen Entwicklungsstand aufweisen und auch immer einfacher bedient werden können.

Die Speicherung der potenziellen Nutzungsräume in Form von 3D-Modellen sollte möglichst plattformunabhängig erfolgen. Da es dazu noch keine einheitlichen Standards gibt, stellt die Speicherung in Form von Rasterdaten (regelmäßige Grids der Ober- und Unterkanten sowie der Mächtigkeiten im 3D-Raum) einen Kompromiss dar. Für Zwecke der Visualisierung und Dokumentation kommen 2D-Darstellungen in Form von Potenzialkarten, 2D-Vertikalschnitte sowie Screenshots aus 3D-Modellen in Frage. Während die Informationen aus den 2D-Darstellungen eindeutig abgelesen werden können, können Screenshots aus 3D-Modellen lediglich zu Zwecken der Veranschaulichung verwendet werden.

Forschungsbedarf besteht noch hinsichtlich der Frage, in welcher Detailliertheit die Modelle für die unterirdische Raumplanung benötigt werden. Je höher der Detailierungsgrad, desto belastbarer kann auch die Planung erfolgen. Allerdings steigt mit wachsender Detailierung auch der Aufwand zu Erstellung der Modelle und es bestehen die genannten Probleme mit der Nutzung detaillierter im Privatbesitz befindlicher Daten. Deshalb muss hier ein geeigneter Kompromiss gesucht werden. Unter diesem Blickwinkel wird im weiteren Verlauf empfohlen die Aussagen aus den Teilvorhaben 1 und 2 in der Praxis mit einem Modellvorhaben zu testen. Hier könnten die Möglichkeiten und Hindernisse, welche die unterirdische Raumplanung betreffen, getestet und gezielt aufgezeigt werden.

2 Summary

The utilization of the geological subsurface is no longer restricted to conventional mining, like the production of raw materials. As a result of technological progress, new opportunities for using subsurface spaces and subsurface resources have developed.

Shallow geothermal systems for the heating and cooling of buildings are well established, while deep geothermal systems for production of heat and electric energy are increasingly attracting the attention of private investors. Additionally, the geological subsurface is used more and more for the storage of energy by storage of oil, gas, hydrogen or compressed air.

Because of the worldwide shortage of conventional oil and gas resources, non-conventional oil and gas reservoirs are now also increasingly explored and exploited, partly with significant consequences for the environment. Additionally there is the opportunity for subsurface disposal of environmentally hazardous substances, like carbon dioxide (Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS), radioactive material and other industrial waste.

The subsurface is not, however, an infinite resource. The utilization of the subsurface is often related to specific geological structures and parameters essential for the possibility of utilization.

The increasing competition in the subsurface is promoted by the climate and energy goals of the Federal Government but also by the increasing worldwide shortage of raw materials.

These demands, initiated by social and global changes, lead to an increasing competition between different subsurface uses and also to possible consequences for surface planning and developments.

For the coordination of the different demands on the surface, spatial planning procedures are proven instruments. Transferring the spatial planning instruments to the subsurface gives rise to new challenges, because the evaluations and decisions have to be made in a three dimensional space.

The conflicts between different subsurface uses and their conflicts with the surface have to be investigated. Especially the criteria for subsurface uses have to be considered in detail in order to show what uses are possible under local conditions.

In the following, geological structures suitable for utilization are described and allocated to subsurface uses. Subsequently, geological criteria are considered in the context of geological structures and their utilization. Subsurface uses can be subdivided into four general categories: storage, deposition, production and underground structures. The following uses are considered:

- Storage
 - Gas storage (CH₄/H₂, compressed air)
- Deposition
 - Carbon Capture and Storage (CCS)
 - Underground disposal (including radioactive waste disposal)
 - Brine injection

- Production
 - Groundwater utilization (drinking water, raw water, mineral water, spa water and thermal water)
 - Shallow geothermal systems
 - Hydrothermal geothermal systems
 - Petrothermal systems
 - Storage of heating and cooling energy
 - Oil and gas production (conventional/non-conventional)
 - Production of solid raw materials
- Underground structures
 - Underground pumped storage plants
 - Technical structures (tunnel, caverns, etc.)

In the analysis of geological structures generally suitable for utilization, it is in principle irrelevant whether these structures are located offshore, i.e. below the seafloor (in the coastal region = 12 mile zone or in the Exclusive Economic Zone = EEZ). However, some subsurface uses are not relevant in marine regions (such as underground disposal, geothermal systems). The main focus in offshore regions is on the production of raw materials.

The different offshore zones are under different administrative responsibilities. The 12-seamile zone comes under the responsibility of the coastal federal states, while the EEZ belongs to the responsibilities of the federal government. In considering the interaction between subsurface and surface uses, these zones with their specific uses, like shipping, supply pipes and cables, fishing and so on, have to be taken into account.

Based on the findings regarding the geological background in Chapter 2, the different subsurface uses were further analyzed. The impacts resulting from subsurface uses can be subdivided into geochemical, geomechanical, geohydraulic and geothermal effects. On this basis, the main known uses were examined with regard to the impacts they have in standard operation as well as during operational failures. These impacts are compiled in Appendix 2 as a matrix.

Subsequently, the competition between the different uses was analyzed. The competition can be subdivided into competition at the same location, competition within the same geological structure, competition at different structural levels and competition with surface uses.

In the context of spatial planning of subsurface uses, the term 'utilization zone' has been proposed. This is defined as a three-dimensional zone within a subsurface geological structure together with required surrounding buffer zones that is foreseen for a certain use. The utilization zone can consist of one or several project zones. At the border of the utilization zone, the level of impacts (geochemical, geomechanical, geohydraulic and geothermal) in standard operation is deemed acceptable for all other subsurface uses. The definition of the utilization zone depends on the local geologic properties and structures as well as on the type and intensity of use.

That means that competing uses in the same or in overlapping utilization zones would be ruled out. It follows from this that uses whose utilization zones do not overlap would be possible, whether side by side or one on top of the other.

The potential utilization zone has to be defined in a process of detailed investigations by the geological expert in such a way that the impacts at the border of the utilization zone are acceptable for other uses. To evaluate conflicts with uses and impacts on protected assets at the surface, operational failures have to be included in the analysis.

In the study it was found that it is not reasonable from a geological perspective to define general priorities for individual uses, because the possibility of a given use strongly depends on the local geological conditions.

Subsequently, initial recommendations are made for criteria for the limitation of geochemical, geomechanical, geohydraulic and geothermal impacts. These criteria have to be finally defined on the basis of a wide consensus including the geological surveys of the federal states. In addition, the approach to taking impacts on protected assets on the surface is described. Related criteria can be derived from the environmental legislation. It has to be emphasized, however, that here too certain subsurface uses cannot be generally excluded. This always requires detailed considerations and especially risk analysis.

In the third key aspect of the study, extensive searches were made regarding relevant legislation and available data, taking three federal states as case studies. This was supplemented by interviews with experts to get a more complete picture about the data situation in Germany.

The recommended interface between the geological experts (for example the geological surveys of the federal states) and spatial planners are the three dimensional potential utilization zones (=three dimensional body) for different uses in the three dimensional subsurface. These potential utilization zones are the regions that can be used including additional surrounding regions that limit the impacts of the use. In the case of some uses, especially underground storage and disposal of liquids, the impacts are often limited through geological barriers (such as aquitards). Regions that have to be included in the utilization zone in order to limit impacts to an acceptable level are referred to as buffer zones.

The potential utilization zones have to be characterized by the three dimensional zone in the subsurface and additionally by parameters which describe the intensity of usage (masses that can be stored or disposed of, resources of raw materials or energy, etc.). The potential utilization zones, i.e. the three dimensional bodies, may be prepared for spatial planners either on the basis of three dimensional models or as potential maps. The potential utilization zones will overlap for competing uses. Based on the information received from the geological expert, the regional planner is able to define priorities taking additionally into account political and economic aspects. It is important to mention that in many cases, the feasibility of a certain use cannot be confirmed until detailed project related investigations and explorations have been performed. This is an essential difference to spatial planning on the surface.

The potential utilization zones needed for spatial planning will be developed by geological experts on the basis of the available geological information. These potential utilization zones can be represented using three dimensional geological models or as potential maps.

The study sets out what laws and regulations govern the handling of underground data. The search showed that these are especially the Access to Geo-data Act, the Environmental Infor-

mation Act and the Freedom of Information Act. Two additional acts regulate the delivery of data from project level to the administrative level, the Mineral Deposit Act and the Federal Mining Act. The data are kept by the responsible institutions. The further transmission of these data is restricted by the acts mentioned above and the agreement of the owners of privately owned data. The authorities can use the data for subsurface spatial planning subject to these restrictions. In the federal states which were used as case studies, i.e., Saxony, Lower Saxony and Bavaria, there exists a variety of relevant geological maps and special geological maps. This information is completed by three dimensional geological models, which are currently under development. These three dimensional subsurface models have to be additionally interpreted by geological experts, i.e. the geological surveys, in regard to possible uses of the relevant geological structures. These interpreted three dimensional models as well as the existing potential maps for selected uses are a suitable basis for subsurface spatial planning.

The expert interviews showed the distribution of competences and the availability of geo-data in the selected federal states. Especially it became clear that privately owned data remain in the ownership of their private owners and are not freely available. An exchange of data between different authorities is possible taking into account these restrictions. An exchange of data between different federal states is possible, but requires related agreements or contracts. An example is central data storage and management in the hydrocarbon association with a central data pool. A transmission to federal authorities or data exchange with them is not foreseen or regulated. In agreement with the data owner, the data can be viewed and subsequently purchased. The protection of private ownership and confidentiality prevents the unrestricted use of parts of subsurface data.

Most of the interviewed experts pointed out that the high requirements for information and the information density present subsurface spatial planning with a great challenge. Basically, the data situation in Germany is very heterogeneous. The quantity and quality of the available data strongly depends on the kind of explorations and underground uses made in the past. For a number of uses (such as gas storage or disposal in saline aquifers, oil and gas production, shallow geothermal systems and hydrothermal geothermal systems) the data situation for subsurface spatial planning is generally good, however for some of these uses models or potential maps do not exist. To enable unrestricted use of all existing data for subsurface spatial planning, the Deposit Act has to be adapted so as to allow an unrestricted use as long as it is in the public interest. On the other hand, subsurface spatial planning must be established as being in the public interest. This could be done with a clause in Article 2 of the Regional Planning Act.

The currently existing models and potential maps represent the current work status based on the data that can be used. The development of these models and potential maps has usually also relied on privately owned data. This was possible on the basis of mutual agreements between the authorities and the data owners and ensuring to use just basic information and no detailed information. All the details of the data are still confidential. A good example of such a system is GeotIS, which comprises information regarding the deep geothermal potential. Data that could be used for the preparation of three dimensional models or potential maps as a basis for subsurface spatial planning also exist for other uses and other regions. The potential maps already developed demonstrate that it is possible (based on agreements with the data owners) to develop a basis for subsurface spatial planning, even if there are some restrictions and limitations in the use of the data. These examples show that the data for subsurface spatial planning can be developed step by step. The critical aspects are the access to private data but also

the resources of geological expertise that are required to develop the models and interpret them in such a way that potential utilization zones can be derived. It is also relevant in this context that for some uses in some regions suitable geological conditions do not exist, so that these uses can be excluded for large regions.

Overall, the study concludes that subsurface spatial planning is currently possible, at least for some regions. For some regions there already exist potential maps or three dimensional subsurface models that can be used. These have to be evaluated by geological experts in regard to subsurface spatial planning in order to develop potential utilization zones for all possible uses. However, the high level of data uncertainty has to be taken into account. The quantity and quality of data is much better for shallow uses or such regions which have been used or foreseen to be used in the past. This means that in many cases, project-level investigations and exploration will be necessary to demonstrate the actual feasibility of a given use.

To evaluate potential impacts of uses the terms utilization zone and project zone have been defined. The definition of these zones allows the evaluation of impacts during normal operation as well as during operational failures.

The interface between the geological experts and regional planners are the potential utilization zones for all possible uses, which have to be developed by the geological experts using three dimensional models on the basis of the available data. They have to be characterized in regard to the possible extent of the use. These potential utilization zones are the basis for prioritization by regional planners. We recommend that the geometric aspects of the overlap of the potential utilization zones should also be evaluated by using three dimensional models.

The potential utilization zones can be defined as detailed three dimensional bodies as well as simplified geometric bodies (such as cubes or cuboids). Even if simplified bodies are easier to handle, we recommend using detailed bodies to make best-possible use of the subsurface. The reason is that simplified bodies have to include the entire usable geological structures and consequently also regions outside these structures. This recommendation is also based on the fact that the three dimensional modelling software is well developed and more and more easy to handle.

The geometric information of the three dimensional utilization zones can be stored as three dimensional models, preferably platform-independent. Since a general standard does not yet exist for that, we recommend storage in the form of ascii-grid data (upper and lower surfaces of geological bodies as well as thicknesses) as a compromise.

For visualization and documentation we recommend two dimensional potential maps, two dimensional cross sections and screenshots of real three dimensional models. While the information in the two dimensional is unambiguous, screenshots are just for visualization and illustration. They are not unambiguous.

Additional research is required in respect to the question of how detailed the three dimensional models must be for subsurface spatial planning. With increasing level of detail, the reliability of the planning also increases, however the efforts for the development of these models increases significantly, too. Additionally, there exist the mentioned problems with restrictions in the use of the data and data confidentiality. Because of that it has to be excluded that detailed data which are in private ownership can be reversely extracted from the models. Therefore a compromise is necessary. Based on that, we recommend that the results of Parts 1 and 2

of the research project should be tested in practice in a model project. This model project can be used to evaluate the possibilities and obstacles regarding subsurface spatial planning.

3 Geologische Grunddaten

3.1 Nutzbare geologische Strukturen im Untergrund

3.1.1 Allgemeines

Die meisten unterirdischen Nutzungen sind an spezielle geologische Formationen gebunden. Die geologischen Formationen werden insbesondere auch unter Berücksichtigung ihrer räumlichen Lage und ihrer Form auch als **geologische Strukturen** bezeichnet. Es existieren allerdings auch Nutzungen, für die das nicht gilt. Der von diesen Nutzungen beanspruchte Untergrund wird in dieser Arbeit daher als strukturunabhängiger Untergrund bezeichnet.

Die nachfolgend aufgeführten geologischen Strukturen stellen nur eine Auswahl der Strukturen dar, denen eine besondere Rolle in Bezug auf unterirdische Nutzungen zukommt.

3.1.2 Aquifere

3.1.2.1 Freie Aquifere

Ein Aquifer ist ein Gesteinskörper, welcher Hohlräume aufweist und daher zur Leitung von Fluiden grundsätzlich geeignet ist. Entsprechend ihrer Beschaffenheit lassen sich drei Typen von Aquiferen unterscheiden:

- Porengrundwasserleiter bestehen entweder aus Lockergesteinen (Sand Kies) oder Festgesteinen (Sandstein), in denen der Porenraum von Wasser durchströmt wird.
- Kluftgrundwasserleiter bestehen aus Festgesteinen, in denen Wasser entlang von Klüften (kleine Risse) strömen kann.
- Karstgrundwasserleiter bestehen aus Festgesteinen, in denen durchflusswirksame Hohlräume durch Verkarstungsprozesse (Lösungsprozesse in kalkreichen Gesteinen) entstanden sind.

Daneben können auch Mischtypen auftreten, beispielsweise geklüftete Sandsteine, in denen sowohl die Kluftsysteme als auch der Porenraum durchflusswirksam sind.

3.1.2.2 Abgedeckte Aquifere

Aquifere können nach unten und nach oben durch Grundwassernichtleiter bzw. -stauer begrenzt werden. Man spricht in diesem Fall von einem abgedeckten Aquifer.

3.1.3 Öl- und Gasvorkommen

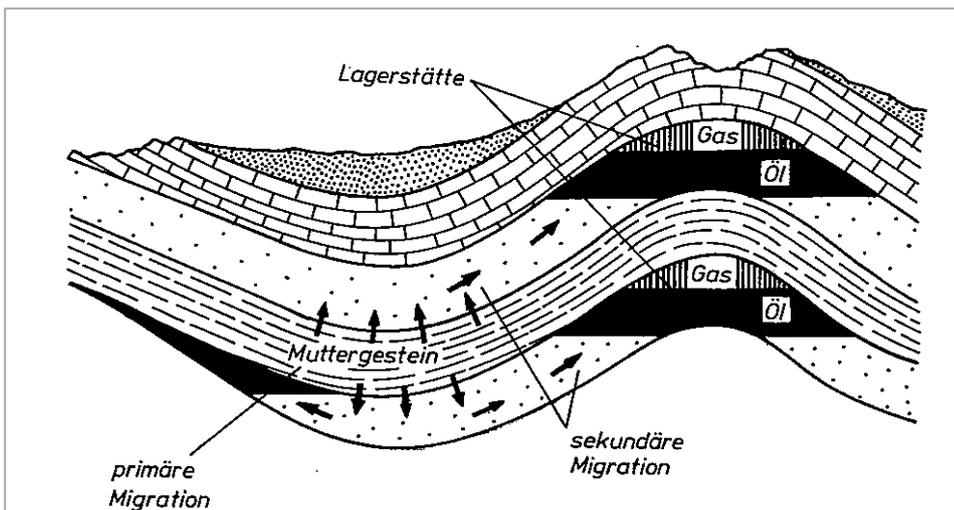
3.1.3.1 Konventionelle Öl- und Gasvorkommen

Die Ausführungen in diesem Abschnitt entstammen weitgehend der Arbeit von Pohl (1992). Erdöl und Erdgas gehören zu den wichtigsten fossilen Energieträgern der Menschheit. Erdöl besteht aus einer Mischung unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe, welche sich grob in drei Gruppen unterteilen lassen - Paraffine (Alkane), Cycloparaffine (Naphthene) und Aromaten (Benzenoide). Erdgas besteht vor allem aus CH₄ (Methan) mit geringen Beimischungen von CO₂, H₂S und N₂.

Erdöl und Erdgas entstehen durch die diagenetische Reifung (Katagenese) organischer Materialien in Sedimentgesteinen. Im Unterschied zur Kohle bilden hier vor allem marine Mikroorganismen (Phytoplankton, Zooplankton) das Ausgangsmaterial, welches auch als Kerogen bezeichnet wird. Katagenese bedeutet in diesem Fall die vor allem temperaturkontrollierte Umwandlung des organischen Ausgangsmaterials in immer kurzkettigere Kohlenwasserstoffe. Erdgas kann darüber hinaus auch direkt während des Inkohlungsprozesses aus Kohlen gebildet werden. Für einige Erdgasfelder werden auch abiogene Bildungen durch Mantelentgasungen diskutiert.

In ihren jeweiligen Muttergesteinen werden Erdöl und Erdgas in disperser (fein verteilter) Form gebildet. Steigende Temperaturen, die Entwässerung der Muttergesteine und deren zunehmende Kompaktion setzen einen Migrationsprozess der Kohlenwasserstoffe in Gang. Die Kohlenwasserstoffe migrieren in Bereichen mit niedrigen Drücken, also vor allem nach oben ins Hangende, und in Gesteine mit größeren Porositäten (Speichergesteine). Wo derartige Speichergesteine im Hangende durch einen Stauer abgedichtet sind (Fallenstrukturen), können sich im Laufe der Zeit erhöhte Konzentrationen von Erdöl und Gas ansammeln und eine Lagerstätte bilden (Abb. 1).

Abb. 1: Schematische Darstellung von Mutter- und Speichergesteinen und den Lagerstätten unterhalb der Fallenstrukturen



Pohl, 1992

Als Fallenstruktur bezeichnet man also die Kombination von porösem Speichergestein und darüber liegendem Stauer. Man unterscheidet dabei zwei grundsätzliche Typen: Die *stratigraphische Falle* ist vor allem auf Eigenschaftsänderungen der abgelagerten Sedimente zurückzuführen (beispielsweise poröse Riffstrukturen in feinkörnigen Kalken), während die *tektonische Falle* auf die spätere Deformation von Gesteinen (beispielsweise in Faltenbögen -Abb. 1) zurückzuführen ist. In vielen Lagerstätten liegen beide Typen auch kombiniert vor.

3.1.3.2 Unkonventionelle Öl- und Gasvorkommen

Unter unkonventionellen Öl- und Gasvorkommen (tight oil/gas) versteht man solche Vorkommen, die an spezielle Speichergesteine gebunden sind, in denen die Kohlenwasserstoffe nicht frei fließen können. Darüber hinaus können auch Vorkommen mit ungewöhnlichen chemischen Spezifikationen, die einen konventionellen Abbau unmöglich machen, gemeint sein. Da-

raus folgt, dass unkonventionelle Kohlenwasserstofflagerstätten nicht notwendigerweise an Fallenstrukturen gebunden sind. Derartige Lagerstätten können oft nur mit Hilfe von speziellen Techniken wie hydraulischer Stimulation (hydraulic fracturing) oder Richtbohrtechnik erschlossen werden.

Ein besonderer Typ unkonventioneller Gasvorkommen ist das sogenannte Schiefergas (shale gas), in dem Erdgas in Tonsteinen eingelagert ist. Analog dazu gibt es die bitumen- oder schweröhlhaltigen Ölschiefer, die aber derzeit noch keine wirtschaftliche Bedeutung haben.

3.1.4 Mineralische Rohstoffvorkommen

3.1.4.1 Begriffsbestimmung

Mineralische Bodenschätze definiert man nach ihre Größe in nutzbare Lagerstätten, deren Abbau sich wirtschaftlich lohnt oder in der Zukunft lohnen könnte und Vorkommen, deren Abbau aktuell unwirtschaftlich ist.

Beide entstehen im Rahmen magmatischer, sedimentärer und seltener auch metamorpher Bildungsprozesse sowie durch Absatz aus wässrigen, metallhaltigen Lösungen.

Nach ihrem Entstehungszeitraum unterscheidet man in syngenetische d. h. mehr oder weniger gleichzeitig mit dem Umgebungsgestein entstandene und epigenetische d. h. durch spätere Ablagerung entstandene Lagerstätten.

Nach ihrer geologischen Struktur und räumlichen Form der Ausbreitung unterscheidet man

- isometrische Körper bzw. Stöcke,
- Gänge und Stockwerke sowie
- Flöze bzw. stratiforme Bildungen.

3.1.4.2 Stöcke

Stöcke definieren sich durch eine gegenüber Länge und Breite herausragende Höhe. Im Planschnitt erscheinen sie isometrisch.

Stöcke sind typisch für einige magmatische Bildungen (z. B. Kimberlitpipes) oder für druckbedingte sedimentäre Aufpressungen (z. B. Salzstöcke).

3.1.4.3 Gänge und Stockwerke

Unter Gängen sind epigenetische Körper zu verstehen, die sich als Füllung von Spalten und Klüften des Umgebungsgesteins abgelagerten. Ihre Mächtigkeit kann dabei von wenigen Millimetern bis zu mehreren Metern schwanken. In Abhängigkeit von ihrer Neigung im Raum schwankt ihre graphische Projektion an der Oberfläche erheblich.

Stockwerke werden durch eine Anhäufung von Gängen gebildet, die sich in einer Vielzahl von dicht beieinander angeordneten Adern und Trümmern netzartig verzweigen und verästeln. Stockwerke sind die sowohl größten als auch ergiebigsten Erzkörper und liefern gute Abbaubedingungen. Im Planschnitt erscheinen sie mehr oder weniger isometrisch.

3.1.4.4 Flöze

Flöze sind sedimentär entstandene, ausgedehnte Lagerstätten eines Rohstoffes, die parallel zur Gesteinsschichtung verlaufen. Die Mächtigkeit kann erheblich schwanken. Die geometrische Lage eines Flözes im Gebirge wird durch seine Neigungswinkel (Fallen und Streichen) festgelegt.

Beispiele für einheimische Flözlagerstätten sind Braunkohle, Steinkohle oder Kupferschiefer. Die wegen ihrer herausragenden multiplen Nutzbarkeit eine Sonderstellung einnehmenden Kohlenflöze und stratiforme Salzlagerstätten werden unter Pkt. 3.1.5 und 3.1.6 beschrieben.

3.1.5 Braun- und Steinkohlenflöze

Kohle ist ein biogenes Sedimentgestein, welches vor allem aus fossilen Pflanzenresten entstanden ist und damit wichtiger fossiler Energieträger. Der größte Teil dieser Pflanzen stammt aus den Erdzeitaltern Karbon und Perm (250 – 350 Millionen Jahre) sowie Kreide und Tertiär (5 – 140 Millionen Jahre), in denen optimale Wachstumsbedingungen für Pflanzen herrschten. Dies führte zur Ausbildung ausgedehnter farnreicher Sumpfwälder und zu einer ausgeprägten Akkumulation von Biomasse am Boden der Sümpfe. Nach der sedimentären Überdeckung und anschließender Versenkung wurde das biogene Material unter Luftabschluss und bei hohen Drücken und Temperaturen verdichtet und geochemisch umgewandelt. Dieser Prozess wird als Inkohlung bezeichnet.

Je nach Ausprägung des Inkohlungsprozesses können verschiedene Kohlearten entstehen, die sich vor allem hinsichtlich ihres Kohlenstoffgehaltes und damit ihres Brennwertes unterscheiden. Der Inkohlungsgrad ist dabei vor allem von der Temperatur anhängig, bei welcher der Inkohlungsprozess ablief. Nach dem Inkohlungsgrad unterscheidet man in Stein- und Braunkohlen.

In der Steinkohle können auch Gase wie Methan oder CO₂ adsorptiv gebunden sein. Aufgrund ihrer Genese tritt Kohle in Lagen, den sogenannten Flözen, auf (Abb. 2). Kohlenflöze können Mächtigkeiten von mehreren Dekametern, und horizontale Ausdehnungen von mehreren hundert Kilometern erreichen.

Abb. 2: Ausstrich eines Steinkohlenflözes in Point Aconi, Nova Scotia



Quelle: M. C. Rygel, 2006

3.1.6 Salzstöcke und stratiforme Salzvorkommen

Salze sind im Allgemeinen wasserlösliche, chemische Sedimente, die sich durch die Eindampfung (Evaporation) bilden. Sie werden daher auch als Evaporite bezeichnet. Evaporite bilden sich in der Regel aus dem Meerwasser, welches etwa 3,5 % (35 kg/m³) verschiedener Salze enthält.

Aufgrund unterschiedlicher Lösungseigenschaften werden diese Salze während der Evaporation nacheinander sedimentiert (vereinfacht nach Pohl, 1992):

1. Kalk, CaCO₃ (0,3 %)
2. Gips, CaSO₄ (3,6 %)
3. Steinsalz, NaCl (77,5 %)
4. Epsomit, MgSO₄ (6,4 %)
5. Sylvin, KCl (2,1 %)
6. Bischofit, MgCl₂ (9,5 %)

Es handelt sich dabei um eine idealisierte Abfolge, die so in der Natur nur selten vorkommt. Das Steinsalz (Halit) hat mit knapp 80 % den größten Anteil.

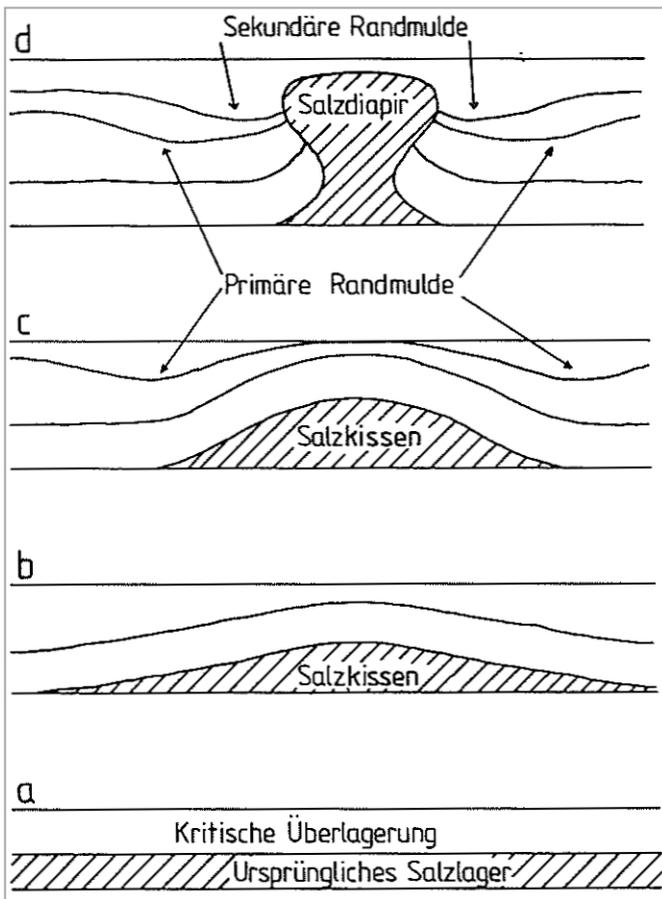
Damit eine solche Evaporation stattfinden kann, müssen nennenswerte Teile des Meerwassers unter ariden Bedingungen isoliert werden. Dies kann beispielsweise in flachen Becken im marinen Randbereich geschehen. Reale Lagerstätten haben oft eine sehr komplexe Entstehungshistorie mit mehrfachen Überflutungen und darauf folgenden unterschiedlich ausgebildeten Evaporationsphasen. Auf diese Weise können Steinsalzsichten, die teilweise mehrere hundert Meter mächtig sind, entstehen. Man spricht aufgrund der Ablagerungsverhältnisse von stratiformen (schichtförmigen) Salzvorkommen.

Eine besondere Eigenschaft der Salze ist ihr Fließverhalten. In Bezug auf ihr Deformationsverhalten, können Evaporite als hochviskose Flüssigkeiten angesehen werden. Dies ist der Hauptgrund für die Ausbildung einer typischen Struktur des Salzes, dem sogenannten Diapir, Salzstock oder Salzdom. Aufgrund des isostatischen Auftriebs des geringdichten Salzes gegenüber dem dichteren Nebengestein, kommt es zu Aufstiegsbewegungen (Abb. 3). In vielen Fällen fließt das Salz durch tektonische Schwächezonen im Dachbereich, ähnlich wie eine magmatische Schmelze, in das darüber liegende Gebirge. Es gibt aber auch Salzdomen, die nicht auf tektonische Strukturen zurückzuführen sind.

Aufgrund der Wasserlöslichkeit der Salze erfolgt eine Förderung oft durch die sogenannte Aussolung. Hierbei wird über Bohrlochsonden Süßwasser in eine Salzlagerstätte eingebracht. Das eingebrachte Süßwasser löst das umgebende Salz und kann anschließend als salzreiches Wasser (Sole) wieder zutage gefördert werden. Aus der Sole kann dann durch Eindampfen oder Sieden wieder Salz gewonnen werden.

Durch diese Art der Förderung können sehr große Hohlräume (sogenannte Kavernen) erzeugt werden, welche teilweise Volumen von mehr als 1.000.000 m³ aufweisen. Da sich solche Kavernen auch für die Gasspeicherung eignen, werden Kavernen inzwischen vor allem für diesen Zweck ausgesolt.

Abb. 3: Schematische Darstellung der Diapirbildung



Quelle: in Pohl, 1992

3.2 Geologische Kriterien zur Nutzung des Untergrundes

3.2.1 Einführung

Im folgenden Abschnitt werden Kriterien zur Nutzung des Untergrundes beschrieben. Deren Ausprägung und Qualität ist maßgeblich entscheidend, ob Nutzungen vorgenommen werden können.

Es werden folgende Kriterien unterschieden:

- Petrophysikalische Kriterien
- Strukturgeologische Kriterien
- Geochemische Kriterien
- Druck und Temperatur
- Anthropogene Historie/ Altbergbau

Kriterien werden im Teilvorhaben 1 als Unterscheidungsmerkmale in Bezug auf Nutzungen betrachtet. Dabei ist das Zusammenspiel von natürlichen Bedingungen der begrenzende Rahmen.

Verschiedene Kriterien können interagieren und sich teilweise auch in Bezug auf eine Nutzung bedingen. Folglich sind es auch die Qualitäten der Merkmale i. S. v. Kriterium, welche über die Art der Nutzung entscheiden.

Ein Beispiel wäre die Nutzung von konventionellen Öl- und Gasvorkommen. Hier muss eine Fluidführung bestehen, welche eng an der Porosität und Permeabilität des Gesteines gebunden ist. Es müssen jedoch auch Kohlenwasserstoffe in geeigneter Qualität überhaupt erst vorhanden sein, um eine Nutzung zu ermöglichen.

3.2.2 Petrophysikalische Kriterien

3.2.2.1 Porosität

Die Porosität ist ein Maß für den vorhandenen Porenraum in einem geologischen Körper. Sie gibt das Verhältnis des Volumens der Hohlräume zum Gesamtvolumen des Körpers wieder und wird in der Regel in Prozent angegeben. Die Spannbreite in realen Gesteinen ist sehr variabel und kann von Werten um 40 % in Sedimenten bis zu <1 % in magmatischen Gesteinen reichen.

In der Erdölgeologie und der Geothermie ist oft die sogenannte effektive Porosität oder Nutzporosität von Bedeutung. Diese bezeichnet den Anteil des Porenraums, der von miteinander verbundenen Poren gebildet wird und in dem ein Stoffaustausch stattfinden kann.

Eine Sonderform der Porosität ist die sogenannte Kluftporosität. Klüfte sind kleine Spalten oder Risse im Gestein, die entweder durch tektonische oder diagenetische Prozesse entstehen. Sie ist unabhängig von der eigentlichen Porosität eines Gesteins (die dann als Matrixporosität bezeichnet wird) und kann beispielsweise in von Natur aus wenig porösen Gesteinen einen erheblichen Porenraum schaffen.

3.2.2.2 Permeabilität

Die Permeabilität ist ein Maß für die Durchlässigkeit eines Gesteins für Fluide oder Gase. Sie leitet sich aus dem Gesetz von Darcy her:

$$K = \frac{Q \cdot \eta \cdot l}{\Delta p \cdot A}$$

- K = Permeabilität in m^3
- Q = Fließrate in m^3/s
- η = Dynamische Viskosität des Fließmediums in Ns/m^2
- l = durchströmte Länge des porösen Körpers in m
- Δp = Druckdifferenz in N/m^2 nach Durchströmung
- A = durchströmte Querschnittsfläche in m^2

Die zugehörige SI-Einheit ist m^3 , wobei das Darcy mit $1 \text{ Darcy} = 9.87 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3$ als weitere Einheit weit verbreitet ist. In den Geowissenschaften werden oft Millidarcy (mD) angegeben, da 1 Darcy eine relativ hohe Permeabilität darstellt.

Für den Spezialfall Wasser wird oft der sogenannte Durchlässigkeitsbeiwert oder k_f -Wert angegeben:

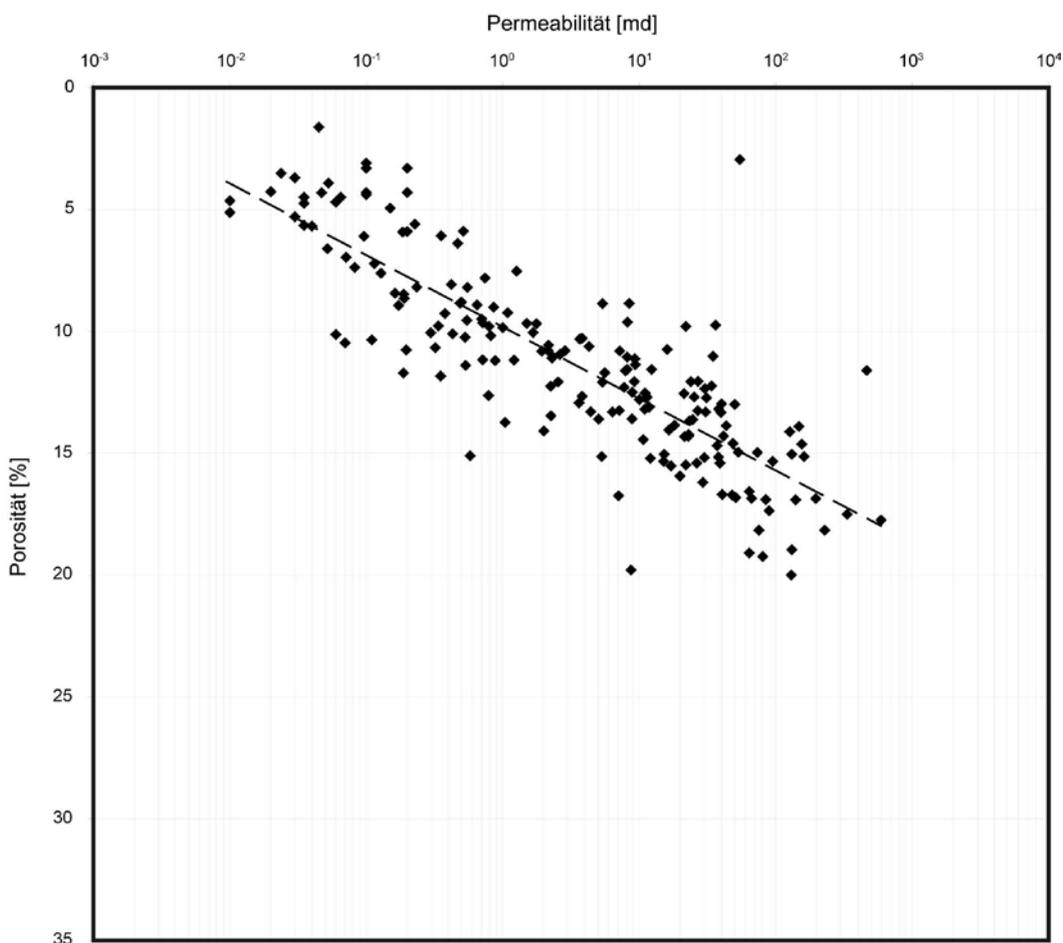
$$k_f = \frac{K \cdot \rho \cdot g}{\eta}$$

- k_f = Durchlässigkeitsbeiwert in m/s
- ρ = Dichte des Fluids, bei Wasser 1.000 kg/m³
- g = Erdschwerebeschleunigung = 9,81 m/s²
- K = Permeabilität in m²
- η = Dynamische Viskosität des Fluids, bei Wasser 10⁻³ Ns/m²

Die Werte reichen dabei von „sehr stark durchlässig“ ($> 10^{-2} \cdot \text{m/s}$) beispielsweise in Kiesen bis „sehr schwach durchlässig“ ($< 10^{-8} \cdot \text{m/s}$) in Tonen und Kristallingesteinen.

Die Permeabilität von Lockergesteinen (Böden) hängt im Allgemeinen von deren Porosität ab, während die Permeabilität von Festgestein, je nach Gesteinsart, von deren Klüftigkeit und/oder Porosität abhängt. Für viele Gesteine gilt eine positive Korrelation der Permeabilität mit der Porosität (Abb. 4).

Abb. 4. Beispiel für die Korrelation zwischen Porositäten und Permeabilitäten aus Kernuntersuchungen im Südwestdeutschen Molassebecken



Quelle: Jodocy & Stober, 2010

Aus der Permeabilität und Durchlässigkeit können für konkrete Aquifere sekundäre Eigenschaften abgeleitet werden. Von besonderer Bedeutung in der Hydrogeologie aber auch bei der Bewertung von Geothermiesystemen sind die Transmissivität T_k und die Transmissibilität T_K . Unter Transmissivität versteht man das Produkt aus Durchlässigkeitsbeiwert und Aquifermächtigkeit,

während man unter Transmissibilität das Produkt aus Permeabilität und Aquifermächtigkeit versteht.

3.2.2.3 Eignung für Stimulation

Unter Stimulation versteht man Methoden, welche dazu dienen die Durchströmbarkeit, also die Permeabilität, eines Gesteins zu verbessern. Dies geschieht, indem künstliche Risse geschaffen oder vorhandene Risse aufgeweitet werden. Ob und welche Art der Stimulation in einer geologischen Struktur durchgeführt werden kann, hängt maßgeblich von den Gesteinseigenschaften und der Art der Struktur ab. Es handelt sich dabei also um ein qualitatives Kriterium.

Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von Stimulationen unterscheiden: Säurestimulation und mechanische Stimulation. Bei der Säurestimulation wird eine Säure in das Gestein gepresst, welche im Zielbereich vorhandenes Gestein auflöst und so die Zuflussmöglichkeiten verbessert. Typischerweise werden solche Säuerungen in karbonatischen Gesteinen durchgeführt. Dabei finden meist Salzsäure oder organischen Säuren Verwendung.

Bei der mechanischen Stimulation (hydraulic fracturing) wird ein Stimulationsfluid unter hohem Druck in den Zielhorizont gebracht, um dort den Gesteinsverband physisch zu zerstören oder vorhandene Wegsamkeiten zu erweitern.

Dabei werden verschiedene Typen von Stimulationsfluiden eingesetzt. Verbreitet sind wasserbasierende Stimulationsfluide, mit Wassergehalten von etwa 99 Vol%. Daneben kann aber auch mit Gelen oder Schäumen stimuliert werden. Welche Art von Fluid für welche Aufgabe geeignet ist, ist gegenwärtig noch Gegenstand der Forschung. Zum jetzigen Zeitpunkt wird meist auf wasserbasierende Stimulationsfluide gesetzt.

In der Praxis werden auch Mischformen beider Stimulationsmechanismen angewendet, bei denen Säuren unter hohem Druck in den Zielbereich gebracht werden.

Zusätzlich können dem Stimulationsfluid sowohl bei der Säurestimulation als auch bei der mechanischen Stimulation weitere Inhaltsstoffe, wie beispielsweise Stützmittel, Emulgierer, Biozide, radioaktive Tracer, chemische Inhibitoren oder Reibungsverminderer, beigemischt werden. Ein recht häufiger Zusatzstoff vor allem bei der mechanischen Stimulation sind sogenannte proppants. Dabei handelt es sich um Stoffe, deren Aufgabe es ist, induzierte Wegsamkeiten während oder nach der Stimulation offen zu halten. Typische proppants sind beispielsweise Sand- oder Keramikkörner. Bei der Säurestimulation werden hingegen oft sogenannte Inhibitoren eingesetzt, deren Aufgabe es ist, die technischen Anlagen (z. B. das Casing) vor Korrosion zu schützen.

Welche Stimulationsmethode und welche der Zusatzstoffe genutzt werden, ist stark von der geologischen Situation und der Zielsetzung der Bohrung abhängig und ist von Fall zu Fall sehr unterschiedlich. Ob sich der geologische Zielhorizont für eine Stimulation eignet ist letztlich von einer Vielzahl unterschiedlicher Parameter abhängig und muss für jede konkrete Bohrung und Zielsetzung separat ermittelt werden.

3.2.2.4 Standsicherheit

Die Standsicherheit ist eine Anforderung an das Gestein in unterirdischen Hohlräumen. Bei Bohrungen spricht man auch von der Stabilität des Bohrloches.

Bei der Betrachtung der Standsicherheit wird abgeschätzt, ob es während des Betriebes eines unterirdischen Hohlraums dazu kommen kann, dass es zu einem Kohäsionsverlust innerhalb des Gesteins kommt und Teile des Gesteins in den Hohlraum verbrechen. Neben der physikalischen Festigkeit des Gesteins ist hier vor allem das lokale Spannungsfeld von Bedeutung. Die physikalische Festigkeit des Gesteins hängt wiederum von einer Reihe von Faktoren, wie beispielsweise der Gesteinsart, dem Auflockerungsgrad, der tektonischen Beanspruchung (Klüfte, Störungen), der Wasserführung oder dem Verwitterungsgrad ab. Das lokale Spannungsfeld ist von der tektonischen Historie und der Tiefe abhängig.

Die Standsicherheit hängt damit von einer Vielzahl von Faktoren ab und muss für jedes Projekt separat betrachtet werden.

3.2.3 Strukturgeologische Kriterien

3.2.3.1 Schichtmächtigkeiten

Unter Schichtmächtigkeit versteht man in den Geowissenschaften die Dicke einer Schicht in Metern. Diese Bezeichnung ist dabei nicht nur auf sedimentäre Ablagerungen beschränkt, sondern wird für alle geologischen Körper verwendet. Sie ist ein wesentlicher Parameter, um die Verwendbarkeit einer Schicht für eine bestimmte Nutzung abzuschätzen. Für die meisten Nutzungen ist letztlich die Kombination aus Mächtigkeit, Porosität und Permeabilität entscheidend.

3.2.3.2 Ausprägung von geologischen Fallen

Das Vorhandensein geologischer Fallenstrukturen ist ein maßgeblicher qualitativer Parameter für eine Reihe möglicher Nutzungen. Da eine Falle immer aus einem porösen, permeablen Speichergestein mit überlagernden oder umgebenden impermeablen Schichten besteht, sind es die Eigenschaften dieser Gesteine, die maßgeblich über die Funktionalität einer Fallenstruktur entscheiden.

In der Erdölgeologie wird eine Vielzahl unterschiedlicher Fallentypen differenziert, von denen hier einige beispielhaft erwähnt werden sollen:

- Diskordanzen (schräggestellte, poröse Schichten, die gegen impermeable gerade Schichten auslaufen)
- Riffe (poröse Riffkörper, überlagert von impermeablen marinen Tonen)
- Tektonische Fallen (poröse Schichten mit impermeabler Deckschicht werden gefaltet oder poröse Schichten mit Deckschicht werden durch Versatz abgedichtet)

Über die Qualität einer solchen Fallenstruktur und damit der Eignung für eine Nutzung entscheiden neben den reinen Lageverhältnissen vor allem die jeweiligen Mächtigkeiten, effektiven Porositäten und Permeabilitäten der beteiligten Speichergesteine und impermeablen Schichten.

3.2.3.3 Tektonische Elemente

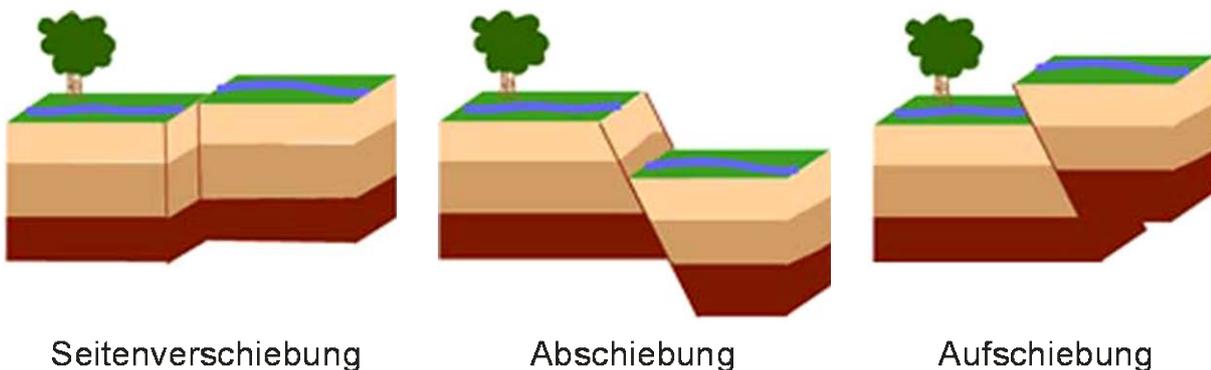
Unter tektonischen Elementen versteht man Strukturen, die sich durch Bewegungen in der Erdkruste gebildet haben. Es können nach der Art der Verformung drei große Gruppen differenziert werden: Störungs- bzw. Bruchtektonik, Faltenbildung und Überschiebungstektonik. Die

Bildung tektonischer Elemente stellt immer eine Reaktion des Gesteins auf das lokale Stressfeld dar. Zu welcher Ausprägung es genau kommt hängt letztlich vor allem von den Eigenschaften der betroffenen Gesteine ab.

In der Störungs- bzw. Bruchtektonik kommt es durch tektonische Bewegungen zum Zerschneiden und zu Verschiebungen innerhalb des betroffenen Gesteinsverbandes. Dabei können Verwerfungen, Spalten oder Klüfte entstehen. Für unterirdische Nutzungen ist dies vor allem deshalb von Bedeutung, weil Störungen, Spalten oder Klüfte Wegsamkeiten innerhalb eines Gesteinsverbandes schaffen und somit Einfluss auf Permeabilität und Porosität haben. Gleichzeitig ist es aber auch möglich, dass Störungen impermeabel sind und damit einen negativen Einfluss auf die Permeabilität eines Gesteins haben.

Abhängig vom Versetzungssinn können verschiedene Typen von Störungsgeometrien unterschieden werden (Abb. 5). Da bruchtektonische Elemente wie Klüfte oder Störungen immer zu einem Kohäsionsverlust im Gesteinskörper führen, haben sie einen erheblichen Einfluss auf die Standsicherheit des Gesteins (Kap. 3.2.2.4). Selbst wenn Störungen durch nachträgliches Mineralwachstum verheilt sind, stellen sie in vielen Fällen potentielle Schwächezonen dar, welche bei Änderungen im lokalen Spannungsfeld reaktiviert werden können.

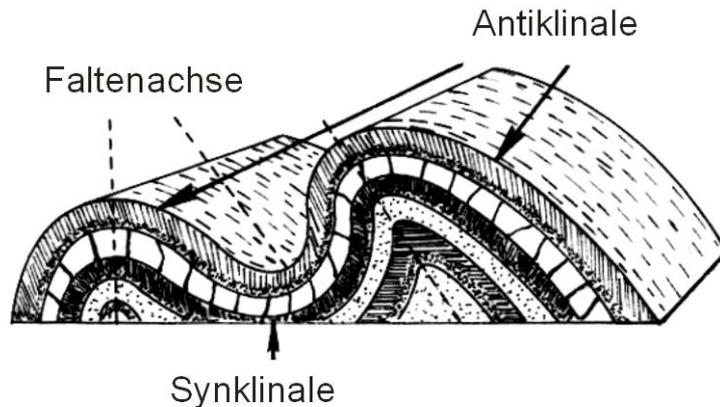
Abb. 5. Schematische Darstellung typischer Störungsgeometrien



Quelle: USGS, 2012

Faltentektonik entsteht, wenn sich relativ formbare Gesteinsschichten unter seitlichem Druck auffalten (Abb. 6). Dies ist ein wesentlicher Prozess zur Bildung bestimmter Faltenstrukturen, die sich vor allem im Bereich der Antiklinalen ausbilden können.

Abb. 6: Schematische Darstellung faltentektonischer Elemente



Quelle: nach Foresman 2007

Überschiebungstektonik entsteht, wenn sich Gesteinskörper gegenseitig als sogenannte tektonische Decken überschieben.

In der Natur bilden sich oft Kombinationen der drei Grundformen aus.

3.2.4 Geochemische Kriterien

3.2.4.1 Qualität fester Rohstoffe

Als Synonym für die Bezeichnung mineralische (metallische) Rohstoffe steht der Begriff *Erz*.

Erze sind natürlich vorkommende Mineralaggregate von wirtschaftlichem Interesse, aus denen durch Bearbeitung ein oder mehrere Wertbestandteile extrahiert werden können. Meistens sind diese Minerale, die mehr oder weniger metallische Bestandteile enthalten. Allerdings fallen auch Schwefel oder Fluss- und Schwerspat sowie Salze unter den Sammelbegriff. Dennoch ist der Begriff im allgemeinen Sprachgebrauch hauptsächlich mit metallischen Komponenten assoziiert.

Abhängig von der Wirtschaftlichkeit des Abbaus werden Erzanreicherungen als Lagerstätte oder als Erzvorkommen bezeichnet. Unter den Begriff Lagerstätten werden auch die Erze gezählt, die im Verlaufe der Geschichte abgebaut wurden. Da die Wirtschaftlichkeit der einzig bestimmende Faktor ist, könnten also in Zeiten der Ressourcenknappheit durchaus Mineralvorkommen, die derzeit uninteressant erscheinen, als Lagerstätten eingestuft und abgebaut werden.

Erze können ganz unterschiedliche Metallgehalte aufweisen. Ein Zinnerz mit 2 % Zinnanteil mag bereits als „reich“ gelten, wohingegen ein Eisenerz erst mit über 60 % Eisen als hochgradig angesehen wird.

3.2.4.2 Salinität

Unter der Salinität versteht man den Salzgehalt einer wässrigen Lösung. Dieser kann entweder massenbezogen beispielsweise in %, ‰ oder g/l, beziehungsweise als Proportionalitätsfaktor zur Leitfähigkeit in PSU (practical salinity units) angegeben werden.

Süßwasser weist typischerweise eine Salinität von $< 0.1\%$ auf, während man ab $\sim 1\%$ von Salzwasser spricht. Ab einem Salzgehalt von 5% spricht man von Sole.

Die Salinität eines Grundwassers ist davon abhängig, welche Elemente es aus dem geologischen Untergrund aufgenommen hat. Dies wiederum ist abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung der durchströmten Gesteine, der Temperatur und der Verweilzeit. Werden auf diese Weise Salinitäten erreicht, die über denen von Süßwasser liegen, wird von salinaren Aquiferen gesprochen.

3.2.4.3 Fluidqualität

Analog zu den festen Rohstoffen hängt die Wirtschaftlichkeit eines Fluidvorkommens maßgeblich von der Qualität und der vorhandenen Menge der Fluide ab. Unter Fluiden versteht man in diesem Zusammenhang wässrige Lösungen, deren Zusammensetzung vom einfachen Trinkwasser bis zu Solen reichen und Kohlenwasserstoffe, wie Erdöl und Erdgas. Wie auch bei den Erzen hängt die Qualität eines Fluids von mehreren Faktoren, vor allem aber von seiner Zusammensetzung ab.

Die Qualität von Erdöl hängt beispielsweise maßgeblich von den jeweiligen Anteilen der Kohlenwasserstoffe innerhalb des Erdöls ab. Ein klassischer Indikator für die Erdölqualität ist daher die relative Dichte, welche in API-Graden ($^{\circ}\text{API}$) angegeben wird (je geringer die Dichte desto hochwertiger das Öl). Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Verbindungen, die den Raffinerieprozess stören und deren Anwesenheit die Ölqualität senken kann. Die wichtigste störende Verbindung ist der Schwefel. Je nach dem Schwefelgehalt werden daher ‚süße‘ und ‚saure‘ Öle differenziert. Für Erdgas gelten im Wesentlichen die gleichen Maßstäbe wie für Erdöl (auch wenn bei Erdgas keine $^{\circ}\text{API}$ angegeben werden).

Für die Förderung von Brauch- und Trinkwasser ist vor allem die Belastung mit Schadstoffen und anderen nutzungsbeeinträchtigenden Verbindungen (je nach Nutzung) relevant. Da es bei der Förderung von Thermalwässern zu Änderungen im Druck- und Temperaturregime kommen kann, sind beispielsweise mögliche Fällungsreaktionen für die Beurteilung der Wasserqualität von Bedeutung.

3.2.5 Druck und Temperatur

3.2.5.1 Geothermische Tiefenstufe

Die geothermische Tiefenstufe ist die Tiefendifferenz, in der sich die Erdkruste um 1 K erwärmt, und steht damit für den Temperaturgradienten derselben (ZEIL, 1980). Eine solche Erwärmung erfolgt durchschnittlich alle 33 m , so dass oft ein Gradient von $3\text{ K pro }100\text{ m}$ angegeben wird.

Die geothermische Tiefenstufe weicht je nach Gebirge ab. In alten und tektonisch ruhigen Gebieten der Erdkruste (beispielsweise in Südafrika) kann sie zwischen 90 m und 125 m betragen, während in Europa auf der Schwäbischen Alb 11 m und im Gotthard 50 m erreicht werden. Diese Abweichungen sind unter anderem durch die örtlich variierende Geologie und besonders vulkanische Aktivitäten bedingt. Hervorgerufen werden die größeren Temperaturgradienten durch geringere Wärmeleitfähigkeit des Gesteins und durch geringere effektive Mächtigkeiten der Erdkruste. Die Wärme im Erdinneren stammt zu 50% bis 70% aus radioaktiven Zerfalls-

prozessen im Erdmantel und Erdkern sowie zu 30 % bis 50 % aus der aufsteigenden Restwärme aus der Zeit der Erdentstehung.

Die geothermische Tiefenstufe für jede Art von Tiefbohrungen relevant, da hohe Temperaturen eine Reihe von technischen Konsequenzen nach sich ziehen. Darüber hinaus ist die geothermische Tiefenstufe für alle tiefen geothermischen Projekte eine wichtige Einflussgröße.

3.2.5.2 Reservoirdruck

Der Reservoirdruck ist der vom Fluid in den Poren eines Reservoirs ausgeübte Druck. Er entspricht in der Regel dem hydrostatischen Druck, also dem Druck, der von einer Wassersäule vom Ruhewasserspiegel bis zum Reservoir ausgeübt wird. Der Druck ist eine der für viele unterirdische Nutzungen bedeutende thermodynamische Zustandsgröße.

Er hat unter anderem Einfluss auf die Siedetemperatur und damit auf den Aggregatzustand der Fluide beispielsweise in hydrothermalen und Öl- und Gasreservoiren oder in Speicheraquiferen. Der Druck beeinflusst auch das Lösungsverhalten aller chemischen Komponenten und hat damit sehr starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Reservoirfluide und deren Verhalten in technischen Prozessen. Auch die Porosität und damit Permeabilität eines Speichergesteins werden vom Reservoirdruck beeinflusst. Darüber hinaus wird der Abbau beispielsweise von Öl und Gas maßgeblich vom Druckgradienten innerhalb eines Reservoirs bestimmt.

Da sich der Reservoirdruck durch Förderprozesse ändert, wird er in der Regel zeitlich abhängig angegeben (beispielsweise als initialer Reservoirdruck). Der Reservoirdruck wird meist in bar ausgewiesen.

3.2.6 Anthropogene Historie/ Altbergbau

Von *Altbergbau* ist immer im Sinne eines stillgelegten Bergbaus die Rede. Meist werden mit Altbergbau Gelände, Grubengebäude und Bergbaufolgelandschaften eines vergangenen Bergbaus bezeichnet. Altbergbau kann aber auch im Wortsinne von historischem Bergbau oder vorindustriellem Bergbau verstanden werden.

Der historische Bergbau hat über Jahrhunderte hinweg nachhaltige Spuren auf und vor allem unter der Erdoberfläche hinterlassen. In weiten Teilen des Landes gibt es unterirdische Hohlräume, die vom Jahrhunderte währenden Bergbau stammen. Daraus resultierend kommt es immer wieder zu Schadensereignissen. Dabei stürzen alte Grubenbaue ein, die Erdoberfläche hebt oder senkt sich oder es kommt zu unkontrollierten Wasseraustritten von Untertage. Ein Beispiel zeigt Abb. 7, wo bei Altenberg durch den Bergbau die sog. Pinge (eine trichterförmige Vertiefung) eingebrochen ist.

Von den Schadensereignissen geht in vielen Fällen eine Gefährdung für Leben, Gesundheit und/oder Eigentum der Bevölkerung aus.

Abb. 7: Die Pinge in Altenberg als Folge des jahrhundertelangen Altbergbaus



Quelle: Mineralienatlas.de

3.3 Unterirdische Nutzungsarten

3.3.1 Begriffsbestimmung

Eine Kategorisierung der unterirdischen Nutzung kann auf vielfältige Art und Weise vorgenommen werden. Nachfolgend wird zwischen Gewinnung, Speicherung, Ablagerung und unterirdischen Bauwerken unterschieden.

Unter Gewinnung wird die Entnahme von Rohstoffen jedweder Art aus dem geologischen Untergrund verstanden. Dabei kann es sich um gasförmige, flüssige und feste Rohstoffe als auch um Wärme handeln. Eine Gewinnung ist mit wenigen Ausnahmen zeitlich beschränkt, da vorhandene Vorräte abgebaut werden. Die einzige Ausnahme stellt hier die Grundwassergewinnung dar. Dort wird in der Regel nur so viel entnommen, wie auch neu gebildet wird.

Im Rahmen der Rohstoffgewinnung werden die geologischen Untergrundstrukturen in der Regel stark anthropogen überprägt und in Abhängigkeit von der Art der Gewinnung eine Reihe von Eigenschaften des Untergrundes nachhaltig geändert. Deshalb stellen sich die Nutzungsmöglichkeiten von im Rahmen des Rohstoffabbaus anthropogen beeinflussten Bereichen anders dar, als die von ungestörten Bereichen. Nach einer Rohstoffgewinnung eröffnen sich teilweise neue Nutzungsmöglichkeiten, teilweise werden Nutzungen ausgeschlossen. Obwohl die Bereiche, in denen Rohstoffe gewonnen werden, räumlich durch eine bergrechtliche Bewilligung begrenzt sind, bestehen in der Regel jedoch auch Auswirkungen über den Bewilligungsbereich hinaus. So wirken sich beispielsweise Änderungen im Reservoirdruck von tiefen Geothermieprojekten über mehrere Dekakilometer aus.

Zur Gewinnung zählen:

- Abbau gasförmiger und flüssiger Kohlenwasserstoffe
- Abbau fester Rohstoffe jeder Art
- Grundwassernutzung (Trink-, Brauch-, Mineral-, Heil und Thermalwasser)
- Geothermie

- Flache Geothermie
- Tiefe Geothermie
- Petrothermale Geothermie

Bei der Speicherung handelt es sich um eine zeitweilige Einlagerung von in der Regel gasförmigen oder flüssigen Materialien, um diese selbst zu speichern bzw. Energie zwischen zu speichern. Die Speicherzeit reicht dabei von einigen Stunden bis zu mehreren Jahren. Die für eine Speicherung nutzbaren geologischen Strukturen sind in der Regel räumlich begrenzt. Jedoch gibt es auch hier Auswirkungen über den eigentlich genutzten Bereich hinaus. So kommt es beispielsweise bei der Verdrängung des ursprünglichen Porenfluids zu Druckänderungen im Bereich des Aquifers.

Zur Speicherung zählen:

- Speicherung von Methan und Wasserstoff
- Druckluftspeicherung
- Wärmespeicherung (Sonderfall der Geothermie)

Unter Ablagerung versteht man dagegen das dauerhafte Verbringen gasförmiger, flüssiger oder fester Materialien in den Untergrund. Dabei wird aus heutiger Sicht grundsätzlich davon ausgegangen, dass keine Rückholung vorgesehen ist. Das wesentliche Ziel einer Ablagerung besteht dabei darin, die abgelagerten Materialien dauerhaft in einem räumlich eng begrenzten Bereich zu fixieren. Eine spätere anderweitige Nutzung der für die Ablagerung genutzten Bereiche ist nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht möglich. Gemäß der CCS-Richtlinie ist die dauerhafte Speicherung von CO₂ vorgesehen. Trotzdem muss in Abhängigkeit von der Art der Ablagerung davon ausgegangen werden, dass es Auswirkungen über den eigentlich genutzten Bereich hinaus gibt.

Zur Ablagerung zählen:

- Soleversenkung und -verpressung
- Untertage-Deponien/ Endlager
- Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS)

Unterirdische Bauwerke sind sämtliche unterirdisch geschaffenen Ingenieurbauwerke, die außerhalb des konventionellen Bergbaus liegen. Dabei handelt es sich u. a. um:

- Tunnel
- unterirdische Pumpspeicherkraftwerke

3.3.2 Gewinnung

3.3.2.1 Abbau fester Rohstoffe

Die Methode zum Abbau fester Rohstoffe ist der *Bergbau*.

Als Bergbau bezeichnet man die Aufsuchung, Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen aus der oberen Erdkruste unter Nutzung von technischen Anlagen und Hilfsmitteln. Es gibt über- und untertägige Aufschluss- und Abbauverfahren.

Oberflächennahe Rohstoffe werden durch Abgrabung in offenen, übertägigen Gruben, dem Tagebau, gewonnen.

Für oberflächennahe Rohstoffe wie Kiese, Sande, Tone, Torfe und Festgesteine sowie teilweise auch Braunkohle gibt es bereits Gebietsausweisungen in der Raumordnung und Landesplanung. In den Landesentwicklungsplänen sowie abgeleitet daraus in den Regionalplänen werden Vorrang- und Vorbehaltsgebiete ausgehalten.

Die ausgewiesenen Vorranggebiete dienen der Sicherung der gegenwärtigen und zukünftigen Versorgung mit oberflächennahen Rohstoffen durch laufende bzw. geplante Gewinnungsbetriebe. In den meisten der ausgewiesenen Vorbehaltsgebiete erfolgt noch keine Rohstoffgewinnung.

Zum Erschließen und Fördern oberflächenferner Rohstoffe wird zwischen zwei Methoden der Gewinnung unterschieden:

- dem unter Tage stattfindenden Tiefbau, d. h. der Gewinnung in einem konventionellen Bergwerk und
- dem Fluid- oder Bohrlochbergbau. Dabei werden die Rohstoffe durch Tiefbohrungen von über Tage gewonnen.

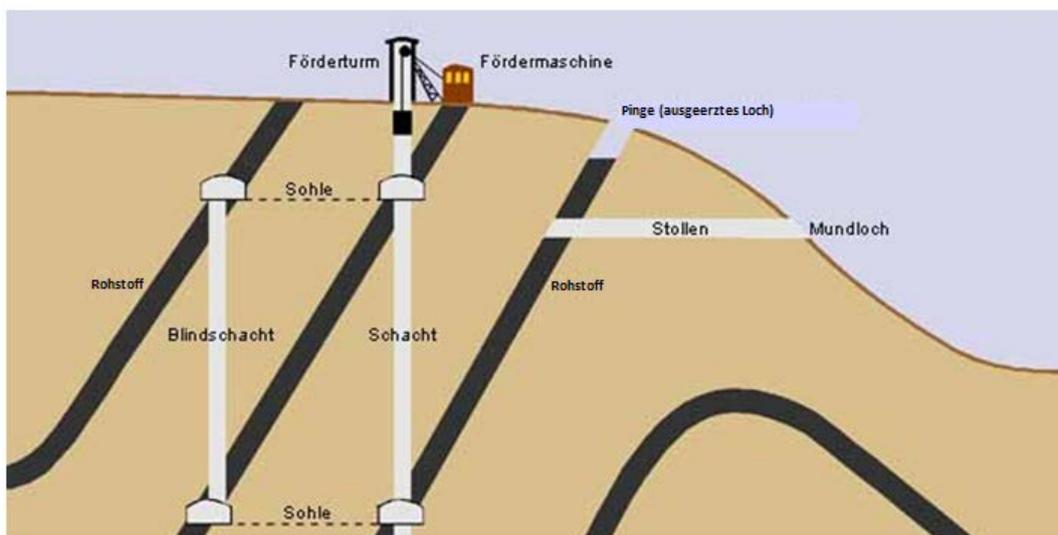
Untertagebergbau

Als Untertagebergbau bezeichnet man im Bergbau die Herstellung unterirdischer Hohlräume in geschlossener Bauweise. Dabei wird der Zugang zur Lagerstätte mit sog. *Stollen* und/ oder *Schächten* (Abb. 8) hergestellt.

Entscheidend für die Art der Erschließung sind hauptsächlich die Teufe der Lagerstätte und die Morphologie der Erdoberfläche.

In den letzten Jahrzehnten der Bergbaugeschichte setzte sich immer öfter eine Kombination aus beiden Methoden, der Aufschluss mittels sogenannte Rampen oder Fahr rampsen durch.

Abb. 8: Schematische Darstellung eines Tiefbaus auf gangförmige Rohstoffe



Quelle: Internet

Der Stollenbau wird in hügeligem Gelände oder im Gebirge angelegt. Hierzu werden zu der, sowie in die im Berg befindlichen Lagerstätte waagerechte, leicht ansteigende oder abfallende Stollen aufgefahren, um somit die Lagerstätte auszubeuten. Der Stollenbau ist nicht geeignet für Lagerstätten, die sich unterhalb der Talsohle befinden; hier findet der Stollenbau in der Regel seine Grenze.

Bei der Erschließung einer Lagerstätte über Schächte oder Rampen werden zunächst senkrechte bis schräge Schächte oder Fahrstrecken bis in die Lagerstätte oder in ihre Nähe geteuft. Danach werden in Richtung auf die Lagerstätte und in der Lagerstätte waagerechte Strecken und Querschläge aufgefahren. Anschließend werden die Bodenschätze mit einem geeigneten Abbauverfahren gewonnen und zur weiteren Verwertung nach Übertage transportiert.

Die Abbauverfahren richten sich ebenfalls nach Struktur und Form des Rohstoffkörpers in der Lagerstätte (Stöcke, Gänge, oder Flöze) sowie der Standfestigkeit des Gebirges. Dementsprechend kommen spezielle Abbauverfahren zur Anwendung.

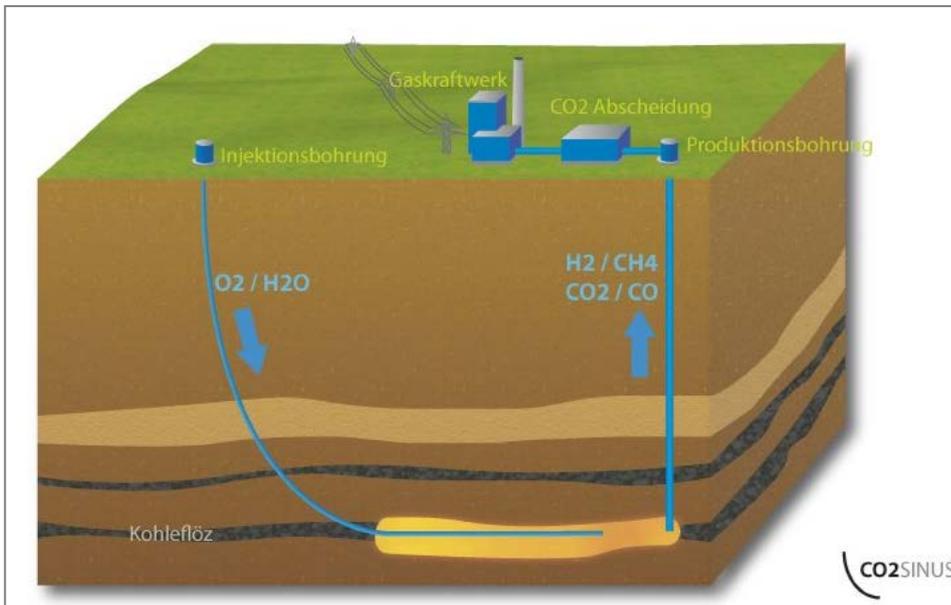
Die verschiedenen Abbauverfahren wie zum Beispiel, Kammerbau, Strebbau, Weitungsbau oder Teilsohlenbruchbau sind von unterschiedlicher raumordnerischer Bedeutung.

Untertagevergasung von Kohle

Kohle als fossiler Energieträger kann bis in eine Tiefe von ca. 1.000 Metern wirtschaftlich abgebaut werden. Allerdings sind auch noch weit tiefer liegende Kohlevorkommen bekannt. Bis zu 5.000 Meter unter der Erdoberfläche befinden sich Kohlelager, die mit Hilfe der Untertagevergasung (UTV) genutzt werden könnten.

Die Untertagevergasung von Steinkohle basiert auf der Anwendung des Bohrlochbergbaus zur Erschließung von Kohleflözen mit Hilfe von vertikalen bzw. abgelenkten flözgängigen Bohrungen. Nach dem Positionieren der Injektions- und Produktionsbohrungen (Abb. 9) erfolgt die Zündung des Flözes. Die kontrollierte Zuführung eines Oxidationsmittels erlaubt die Herstellung eines Synthesegases mit den Hauptkomponenten CH_4 , H_2 , CO , CO_2 und N_2 . Das resultierende Synthesegas kann zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme im gekoppelten Gas- und Dampfturbinenprozess, zur Synthese von Methanol oder Wasserstoff sowie zur Gewinnung von Düngemitteln verwendet werden.

Abb. 9: Prinzip der Untertagevergasung



Quelle: www.CO2sinus.org

Versuche zur Untergrundvergasung von Weichbraunkohlen sind aus der Mitte der 1980er Jahre bekannt. Die damals erzeugten Gase aus den miozänen Lausitzer Flözen waren extrem niedrigerenergetisch und kaum wirtschaftlich aufzuarbeiten.

Seit einigen Jahren wird eine Verbindung der UTV von Steinkohlen mit der CO₂-Speicherung in den entstandenen Hohlräumen auf internationaler Ebene in Betracht gezogen. Dies führte zu einer Intensivierung der Forschung.

Fluidbergbau

Zum Fluidbergbau gehört neben der direkten Förderung von gasförmigen und flüssigen Rohstoffen über Bohrungen (s. Pkt. 3.3.2.4) auch der Zweig des Untertagelaugungsbergbaus.

Entgegen dem konventionellen Bergbau, wo mineralisiertes Gestein (Erz) aus dem Untergrund gefördert wird, indem man das Gestein löst, bricht und anschließend aufbereitet, um die Metalle oder deren Verbindungen zu gewinnen, wird beim Laugungsbergbau durch Erzlaugung das Erz im Untergrund dort belassen, wo es sich befindet und nur die Mineralien aus dem Erz durch chemische Extraktion (Lösung) gewonnen.

Der Erzkörper wird durch Bohrungen erschlossen und ein oxidierendes Fluid eingeleitet, welches die Erze mobilisiert. Meist handelt es sich dabei um verdünnte Schwefelsäure, aber auch Ammoniumsulfat oder Oxalsäure werden verwendet. Die Lösung wird über Bohrungen, die am Rand des Erzkörpers platziert werden, in den Erzkörper eingeleitet. Im Zentrum des Erzkörpers werden dann Produktionsbohrungen niedergebracht, welche die erzhaltige Lösung fördern. Der Säure-Erzschlamm, die sogenannte „schwängere“ Lösung, wird an die Oberfläche gepumpt, wo sie aufbereitet werden kann. Überschüssige Säurereste werden wieder zurück in die Bohrlöcher gepumpt, um sie ein weiteres Mal zu verwenden.

3.3.2.2 Oberflächennahe Geothermie

Unter dem Begriff oberflächennahe Geothermie (teilweise auch als flache Geothermie bezeichnet) wird die Gewinnung von Erdwärme aus Teufen bis zu 400 m verstanden. Der Unterschied besteht darin, dass sich das Arbeitsmittel in einem offenen oder geschlossenen Kreislauf befindet. Neben der Wärmegewinnung spielt auch zunehmend die Kältengewinnung (Eintrag von Wärme in den geologischen Untergrund) eine große Rolle. Dabei wird der Untergrund genutzt, um Abwärme aus der Klimatisierung abzuführen.

In der Regel wird durch die oberflächennahe Geothermie der Umgebung Wärme entzogen bzw. zugeführt. Für Heizzwecke wird Wärmepumpe eingesetzt. Dabei ist grundsätzlich zwischen sogenannten offenen und geschlossenen Systemen zu unterscheiden.

Bei offenen Systemen wird Grundwasser mit mindestens einem Förderbrunnen gefördert, anschließend thermisch genutzt und über einen Schluckbrunnen an einer anderen Stelle wieder in das Grundwasser verbracht. Die Voraussetzung für ein offenes System ist das Vorhandensein eines Grundwasserleiters mit ausreichender Mächtigkeit und hydraulischer Durchlässigkeit.

Die hydraulische Durchlässigkeit steht direkt mit der Permeabilität in Zusammenhang (siehe 3.2.2.1). Die notwendigen Parameter sind vom Wärmebedarf abhängig. So kann der Bedarf von Einfamilienhäusern bereits mit Wassermengen ab ca. 0,5 l/s gedeckt werden. Bei einer Absenkung des Wasserspiegels im Förderbrunnen um 5 m erfordert dies eine Transmissivität von ca. $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die mögliche Wärmeleistung ist nur abhängig von der verfügbaren Fläche und der Transmissivität des Grundwasserleiters.

Offene oberflächennahe geothermische Systeme können in den gleichen geologischen Strukturen genutzt werden, in denen auch eine Trink- und Brauchwassergewinnung möglich ist, wobei die Trinkwassergewinnung Vorrang hat. Durch die geothermische Nutzung mit offenen Systemen wird das Temperaturfeld des Untergrundes in Abstromrichtung des Grundwassers verändert. Zusätzlich wird die Lage des Wasserspiegels lokal verändert. Wegen der möglichen gegenseitigen Beeinflussung mehrerer Nutzungen ist vor allen bei größeren Projekten im urbanen Raum in der Regel ein geothermisches Bewirtschaftungsmodell notwendig. Dies ist Stand der Technik.

Bei geschlossenen Systemen gibt es eine Vielzahl technischer Ansätze. Die am häufigsten eingesetzten Systeme sind Erdwärmesonden in Form von U-Rohr- oder Doppel-U-Rohrsonden. In diesen strömt ein Arbeitsmittel, welches dem Untergrund Wärme entzieht (für Heizzwecke) bzw. Wärme (für Kühlzwecke) einträgt. Die Leistungsfähigkeit einer Sonde ist vor allem abhängig von der thermischen Leitfähigkeit des umgebenden Gesteins. Je höher die thermische Leitfähigkeit des Untergrundes ist, desto größer ist die spezifische Entzugsleistung (gemessen in W/m Sondenlänge). Die spezifische Entzugsleistung ist außerdem maßgeblich abhängig von der Volllaststundenzahl, mit der das System betrieben wird und auch von der Größe des Sondenfeldes und dem gegenseitigen Abstand der Sonden, da sich die Sonden ab einem bestimmten Abstand gegenseitig beeinflussen können.

Typische spezifische Entzugsleistungen für Einzelsonden schwanken im Bereich zwischen ca. 20 W/m (bspw. ungesättigte Sande) bis zu 80 W/m (bspw. Gneise) für eine Volllaststundenzahl von 2.000 h/a. Bei großen Sondenfeldern kann die Entzugsleistung auf ca. 50% dieses Wertes sinken. Steigt die Volllaststundenzahl, so reduziert sich umgekehrt proportional die spezifische Entzugsleistung. Sondensysteme sind grundsätzlich überall einsetzbar. Allerdings sind Restrik-

tionen im Bereich von Wasserschutzgebieten bzw. im Bereich von Bergbau oder Altbergbau zu berücksichtigen. In diesem Fall erfolgt eine entsprechende Regelung durch die Wasser- bzw. Bergbehörden.

Durch die geothermische Nutzung mit geschlossenen Systemen wird das lokale Temperaturfeld des Untergrundes (ca. 10 m Radius) verändert. Es handelt sich mit Ausnahme der Speicherung um den Abbau statischer Wärmevorräte, da der Ausgleich der Wärmebilanz über den geothermischen Erdwärmestrom bzw. von der Erdoberfläche ein Vielfaches (> Faktor 100) als der Abbau dauert.

Beim Vorhandensein von Grundwasser erfolgt eine weiterreichende Beeinflussung in Abstromrichtung des Grundwassers. Hier gilt das gleiche wie für offene Systeme.

Als weitere geschlossene Systeme werden oberflächennahe Erdwärmekollektoren, sogenannte Wärmekörbe bzw. Wärmepfähle (geothermisch genutzte Fundamentpfeiler) eingesetzt. Diese reichen jedoch nur in Tiefen von max. 10 m und sind für die unterirdische Raumplanung nicht von Bedeutung.

Eine besondere Nutzungsart ist die geothermische Nutzung gefluteter Gruben. Dies ist insofern sinnvoll, da das Grubenwasser i. d. R. höhere Temperaturen aufweist als die oberflächennahen geologischen Schichten. Auch hier wird unterschieden zwischen offenen und geschlossenen Systemen, mit denen dem Grubenwasser Wärme entzogen wird. Hier besitzt der Altbergbau selbst eine Bedeutung bzgl. der Raumordnung. Die zusätzliche geothermische Nutzung führt zu keinen weiteren raumordnerischen Aspekten und wird deshalb ebenfalls nicht weiter betrachtet.

3.3.2.3 Tiefe Geothermie

Hydrothermale Systeme

Die tiefe hydrothermale Geothermie erfordert das Vorhandensein von sogenannten Heißwasseraquiferen. In Abhängigkeit von deren Temperatur und Schüttung sind unterschiedliche Nutzungen möglich:

- **Balneologische Nutzung:** Das Thermalwasser wird in Heilbädern für balneologische Zwecke genutzt. Es wird in der Regel nicht reinjiziert. Hier ist eine Nutzung bereits bei Temperaturen ab 40 °C bzw. Schüttungen von 5 l/s möglich.
- **Geothermische Wärmegewinnung:** Das Thermalwasser wird in der Regel über eine Förderbohrung gefördert und in einer zweiten Bohrung reinjiziert, nachdem ihm die Wärme entzogen worden ist. Die notwendige Temperatur ist abhängig vom Heizsystem. Für Niedertemperaturheizungen sind bereits Temperaturen ab ca. 35 °C ausreichend, während für Fernwärmeheizungen mehr als 90 °C notwendig sind. Üblich sind Schüttungen ab ca. 20 l/s.
- **Gekoppelte geothermische Wärme- und Stromgewinnung:** Das Thermalwasser wird in der Regel über eine Förderbohrung gefördert und in einer zweiten Bohrung reinjiziert, nachdem ihm die Wärme entzogen worden ist. Für die Stromerzeugung kommen sogenannte ORC oder Kalina-Anlagen zum Einsatz. Hierzu ist nach gegenwärtigem Stand der Technik eine Mindesttemperatur von ca. 100 °C notwendig. Als Mindestschüttung kann beim gegenwärtigen Stand der Technik von ca. 90 l/s ausgegangen werden, um die Wirtschaftlichkeit darstellen zu können.

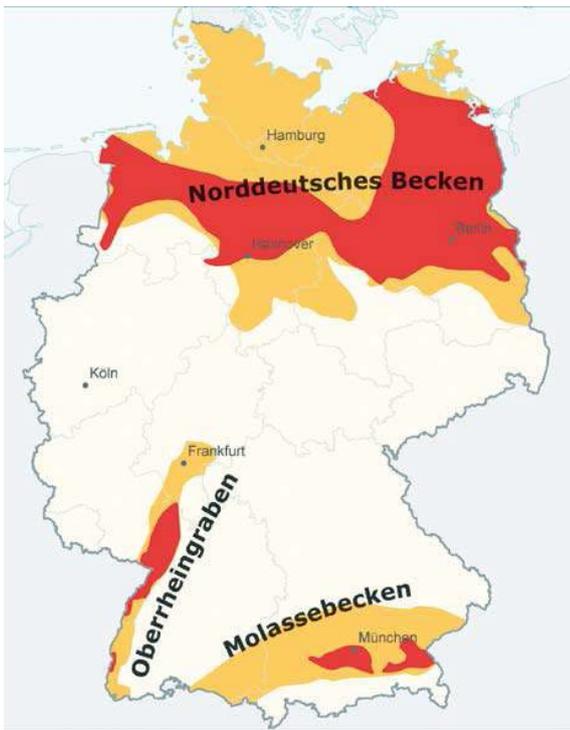
Die Temperatur ist abhängig von der Teufe und der geothermischen Tiefenstufe, d. h. der Temperaturänderung mit der Tiefe. Letztere schwankt für die Regionen in Deutschland zwischen 2 K/100 m und bis zu 6 K/100 m. Das für eine hydrothermale Geothermie ausschlaggebende Kriterium ist jedoch das Vorhandensein von natürlich ausreichend durchlässigen Strukturen. In Deutschland kommen hier vor allem drei Regionen aus geologischer Sicht in Frage: Die norddeutsche Tiefebene, der Rheintalgraben und das Bayerische Molassebecken. In diesen Regionen befinden sich sogenannte Heißwasseraquifere mit einer solchen Permeabilität und Mächtigkeit, dass grundsätzlich einer hydrothermale Nutzung möglich ist.

Beim Betrieb einer Pumpenanlage kommt es zur Absenkung des Wasserspiegels. Der Grad der Absenkung ergibt sich aus dem Zusammenspiel von Pumpenleistung und Transmissibilität. Da die Pumpenleistung sowohl technisch als auch ökonomisch begrenzt ist (da der Energieverbrauch der Pumpen mit der Pumpenleistung ansteigt), ist die Machbarkeit von hydrothermalen Projekten vor allem vom Produkt aus effektiver Mächtigkeit und Permeabilität, also der Transmissibilität, abhängig. Technisch übliche Absenkungen des Wasserspiegels liegen bei ca. 300 m bis 500 m. Typische Permeabilitäten von Heißwasseraquiferen liegen im Bereich von ca. $n \cdot 10^{-13} \text{ m}^3$ bis ca. $1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$, während die effektiven Mächtigkeiten von ca. 20 m bis zu mehr als 500 m reichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich insbesondere bei Karst-Aquiferen (bspw. der Malmkarst in der Bayerischen Molasse sowie im Rheintalgraben) um extrem heterogene Aquifere handelt, bei denen die Schüttung häufig durch wenige einzelne Strukturen hervorgerufen wird. Insofern handelt es sich bei den angegebenen Permeabilitäten und Mächtigkeiten jeweils um effektive, auf die Gesamtstruktur bezogene Werte. Unter Berücksichtigung der temperaturabhängigen Viskosität des Wassers muss das Produkt aus Permeabilität und effektiver Mächtigkeit für geothermische Wärme- und Stromgewinnung im Bereich von ca. $2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ bis $2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$ liegen.

Für die Umsetzung eines geothermischen Projektes ist die Mineralisation bzw. die Salinität ein weiterer wichtiger Parameter. Je höher diese ist, desto schwieriger ist eine geothermische Nutzung, da es durch chemische Umsetzungen der Wasserinhaltsstoffe zu Problemen an den Wärmetauschern sowie den Reinjektionsbrunnen kommen kann. Mineralisationen bzw. Salzgehalte im Bereich von wenigen g/l sind in der Regel unter geochemischer Sicht problemlos geothermisch nutzbar.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die hydrothermal nutzbaren Strukturen in Deutschland in ihrer räumlichen Lage in der Regel gut bekannt sind. Diese sind in Abb. 10 dargestellt. Eine wirtschaftliche Nutzbarkeit kann jedoch erst im Rahmen von Detailuntersuchungen bzw. Untersuchungsarbeiten festgestellt werden. Die Nutzbarkeit eines konkreten Bereiches ist u. a. abhängig von den vorhandenen strukturgeologischen Elementen (Störungen) und der lokalen faziellen Ausprägung des Heißwasseraquifers. Hierzu sind mittlerweile regionale Trends bekannt, die jedoch noch nicht verallgemeinert werden können.

Abb. 10: Für hydrothermale Geothermie nutzbare Heißwasseraquifere über 60 °C (orange) und über 100 °C (rot)



Quelle: Blöcher et al., 2012

Das geothermische Potenzial zur Stromgewinnung in Deutschland in den drei genannten Regionen kann nach gegenwärtigem Stand mit einer Leistung von ca. 400 MW abgeschätzt werden (Müller-Ruhe, W. pers. comm., 2012,). Die Leistung von Einzelprojekten liegt dabei im Bereich von 5 MW. Das Wärmepotenzial liegt jeweils um etwa einen Faktor von mehr als 10 höher.

Petrothermale Systeme

Unter petrothermaler Geothermie werden Systeme verstanden, bei denen keine ausreichenden natürlichen Wasserwegsamkeiten im geologischen Untergrund vorhanden sind. Durch Stimulationsmaßnahmen müssen solche Wasserwegsamkeiten erst geschaffen werden.

Die Stimulation erfolgt dabei mittels Fracking-Maßnahmen. Dabei werden hohe hydraulische Drücke angelegt und große Wassermengen in den Untergrund injiziert, um künstliche Risse im Gestein zu erzeugen, die von einem injizierten Fluid (aus derzeitiger Sicht Wasser) durchströmt werden und als Wärmetauscher zur Verfügung stehen. Dabei ist es wichtig, dass die erzeugten Risse offen bleiben. Deshalb werden teilweise Stützmittel mit injiziert, die zur Stabilisierung der Risse beitragen sollen.

Für petrothermale Systeme werden unterschiedliche Begriffe benutzt, die teilweise auch nur für bestimmte Technologien verwendet werden. Ein alternativer Begriff für petrothermale Systeme ist Hot Dry Rock (HDR). Dieser gilt ebenfalls allgemein für derartige Systeme. Als „Enhanced Geothermal Systems“ (EGS) werden technologische Ansätze bezeichnet, bei denen ganz gezielt eine Vielzahl wohl definierter Risse erzeugt werden, die zwei oder mehrere Bohrungen miteinander verbinden.

Die Voraussetzung für petrothermale Geothermie sind Gesteinsschichten mit ausreichender Temperatur, ausreichender Mächtigkeit und der Eigenschaft der Frack- und Stabilisierbarkeit. Da der technische Aufwand für petrothermale Systeme in der Regel höher ist als für hydrothermale Systeme, wird davon ausgegangen, dass vor allem geologische Strukturen mit ausreichend hohen Temperaturen im Bereich von ca. 150 °C und höher als bevorzugte Zielhorizonte in Frage kommen.

Die Rissbildung erfolgt dabei in Richtung senkrecht zur minimalen Gebirgsspannung. Diese nimmt durch die Auflast der überlagernden Gesteine mit der Tiefe zu.

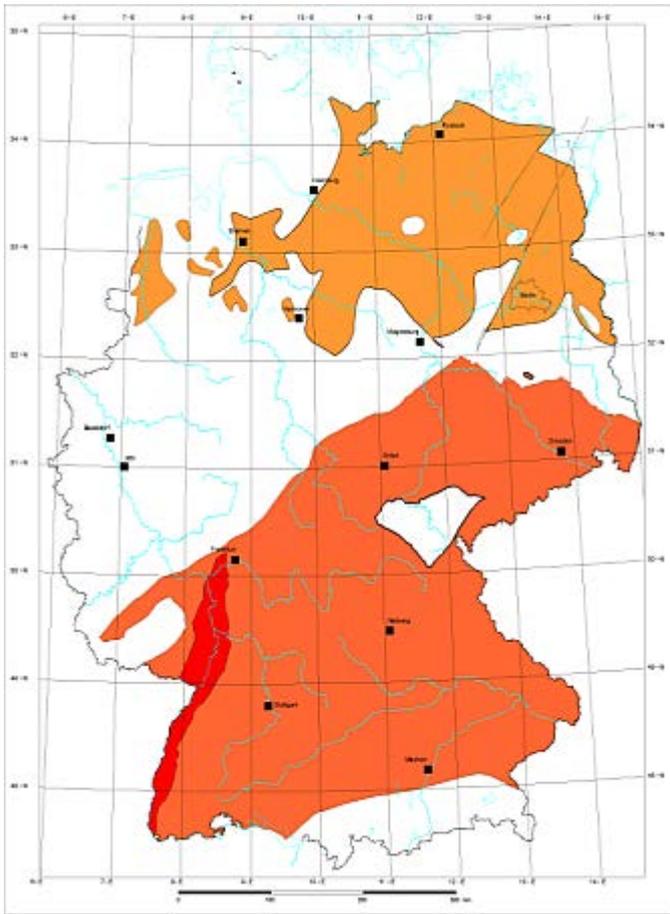
Die Gesteine müssen eine ausreichende Mächtigkeit aufweisen, da die erzeugten Rissflächen ausreichend groß sein müssen, um möglichst große Wärmetauscherflächen zu erzeugen. Zudem müssen die Bohrungen so weit voneinander entfernt sein, dass keine direkten hydraulischen Kurzschlüsse zu befürchten sind. Aus gegenwärtiger Sicht sollten die Abstände der Bohrungen im Bereich von ca. 300 m bis 1.000 m liegen. Dass sich die Risse beim Fracking vorzugsweise nach oben ausbreiten (Abnahme der Minimalspannung) und man vermeiden will, dass die Risse über die geologische Struktur hinaus ausbreiten, hat ebenfalls Einfluss auf die erforderliche Mindestmächtigkeit. Diese ergibt sich aus den petrophysikalischen Eigenschaften des Gesteins und dem geplanten Abstand der Bohrungen.

Die Frack- und Stabilisierbarkeit erfordert ein möglichst sprödes Gestein mit geringer natürlicher Permeabilität. Aus jetziger Sicht kommen vor allem Vulkanite und Granite in Frage. Bei diesen wird zudem davon ausgegangen, dass eine gewisse Selbststabilisierung stattfindet und somit unter Umständen keine Stützmittel eingesetzt werden müssen. Dadurch kann unter Umständen auf die im Bereich Tight- und Shalegas notwendigen chemischen Zusätze verzichtet werden.

Die Regionen in Deutschland, in denen petrothermale Geothermie möglich ist, sind analog zu den hydrothermalen Systemen ebenfalls gut bekannt. Grundsätzlich kann mit der Weiterentwicklung der Technologie davon ausgegangen werden, dass alle Regionen von Deutschland für petrothermale Systeme nutzbar sind. In Abb. 11 sind die Regionen in Deutschland dargestellt, in denen Kristallingestein in Teufen < 3.000 m ansteht bzw. in denen die Rotliegend-Vulkanite Temperaturen > 100 °C haben. Dies sind die Regionen, in denen petrothermale Geothermie aus heutiger Sicht vorzugsweise möglich sein wird.

Als spezielle petrothermale Systeme können Störungszonen betrachtet werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die dort vorhandenen Wasserwegsamkeiten lediglich noch durch Stimulationsmaßnahmen aktiviert werden müssen. Entsprechende Störungszonen speziell im Festgestein sind im gesamten Bundesgebiet vorhanden.

Abb. 11: Regionen in Deutschland mit Rotliegend Vulkaniten mit Temperaturen > 100 °C und Kristallingestein in Teufen < 3.000 m.



Quelle: Paschen, 2003

Gegenwärtig befindet sich die petrothermale Geothermie noch im Stadium der Forschung und Entwicklung. Es gibt ein Forschungsprojekt in Großschönebeck und ein deutsch-französisches Forschungsprojekt in Soultz sous Forêts. Dort konnte nachgewiesen werden, dass derartige Systeme grundsätzlich realisierbar sind und nachhaltige Umläufigkeiten vorhanden sind. Bisher wurden jedoch nur geringere Volumenströme erreicht, als für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendig sind.

3.3.2.4 Öl- und Gasförderung

Förderung konventioneller Öl- und Gasvorkommen

Die Öl- und Gasförderung ist an die entsprechenden Vorkommen gebunden. Diese sind im Untergrund jeweils an sogenannte geologische Fallenstrukturen gebunden. Nähere Erläuterungen dazu finden sich in Abschnitt 3.1.3. In Deutschland sind die Vorkommen an Regionen mit mächtigen Sedimentdecken gebunden. Die bedeutendste Region stellt das Norddeutsche Becken dar. Daneben sind noch die Bayerische Molasse, das Thüringer Becken und der Oberrheingraben von Bedeutung.

Sowohl bei der Öl- als auch bei der Gasförderung unterscheidet man zwischen der sogenannten Primär- und der Sekundärförderung. Bei der Primärförderung wird das Reservoir durch Bohrungen erschlossen und die Förderung erfolgt unter Ausnutzung des Lagerstättendruckes. Auf-

grund der Grenzflächenspannungen und der Viskosität von Erdöl wird dabei nur ca. 1/3 des Öles auf diese Art und Weise gefördert. Der Rest verbleibt in den Poren des Reservoirgesteins. Bei Erdgas ist der förderbare Anteil deutlich höher. Um einen Teil des restlichen Erdöls zu fördern, erfolgt eine sogenannte Sekundärförderung. Dazu werden der Lagerstättendruck und teilweise auch die Temperatur durch gezielte Injektion von Wasser bzw. Heißwasser oder anderer Fluide erhöht.

Das Vorhandensein von Erdöl- bzw. Erdgasvorkommen ist ein Beweis, dass entsprechende Fallenstrukturen vorliegen, die ggf. auch zur Speicherung oder Ablagerung verwendet werden können.

Die über dem Reservoir befindliche stauende Schicht muss dabei so gering durchlässig sein, dass weder Öl noch Gas nach oben entweichen können. Dazu sind Permeabilitäten im Bereich $< 1 \cdot 10^{-18} \text{ m}^3$ bis $1 \cdot 10^{-20} \text{ m}^3$ erforderlich. Dagegen muss das Reservoirgestein eine Permeabilität im Bereich von ca. 10^{-13} m^3 aufweisen, damit eine Ölförderung möglich ist. Für eine Gasförderung sind dagegen Permeabilitäten von $> 10^{-15} \text{ m}^3$ ausreichend. Dabei handelt es sich jeweils nur um Richtwerte, die signifikant abhängig sind vom Lagerstättendruck und der Lagerstättentemperatur (Einfluss auf Viskosität).

Förderung unkonventioneller Öl- und Gasvorkommen

Der wesentliche Unterschied zu den konventionellen Vorkommen besteht dabei darin, dass sich die Fluide in sehr gering durchlässigen Gesteinen angesammelt haben. Deshalb ist es nicht möglich, diese mit den Methoden des konventionellen Fluidbergbaus zu gewinnen.

Eine Möglichkeit, die insbesondere im Bereich von unkonventionellen (Tight- und Shalegas) Gasvorkommen weltweit eingesetzt wird, besteht darin, durch Stimulation zusätzliche Wegsamkeiten im Untergrund zu schaffen. Dadurch kann das Gas besser zu den Förderbohrungen strömen.

Bei der Stimulation handelt es sich in der Regel um Fracking-Stimulation, analog zur petrothermalen Geothermie. Der wesentliche Unterschied besteht allerdings darin, dass es hier darauf ankommt, die mittlere Permeabilität um jeweils ein Bohrloch zu erhöhen, während es bei der Geothermie darum geht, Wegsamkeiten zwischen zwei Bohrlöchern zu schaffen. Beim Fracking im Erdöl- und Erdgasbereich werden in der Regel Stützmittel (proppants) eingesetzt, um die geschaffenen Klüfte zu stabilisieren. Um diese in die Klüfte zu transportieren, müssen zusätzlich eine Reihe von Chemikalien eingesetzt werden. Aus diesem Grund ist diese Technologie gegenwärtig umstritten.

Die typischen Permeabilitäten von Shale- und Tightgasreservoirs bewegen sich dabei im Bereich von $< 1 \cdot 10^{-15} \text{ m}^3$ bis $1 \cdot 10^{-19} \text{ m}^3$.

3.3.2.5 Grundwassernutzung

Unter Grundwassernutzung versteht man die Gewinnung von Trinkwasser ebenso wie die Gewinnung von Brauch-, Heil-, Thermal- und Mineralwasser aus Grundwasserleitern.

Die Grundwasserleiter in Deutschland, die für eine Grundwassergewinnung nutzbar sind, befinden sich in der Regel in Oberflächennähe, d. h. in Tiefen bis zu wenigen hundert Metern. Sie sind in der Regel sehr gut erkundet und es gibt sogenannte Bewirtschaftungskonzepte. Der Grundansatz der Grundwassernutzung besteht dabei darin, das Grundwasser nachhaltig zu

bewirtschaften, d. h. nur solche Mengen zu entnehmen, die auch wieder neu gebildet werden. Damit soll eine dauerhafte Schädigung des Grundwasserdargebotes verhindert werden. Die Grundvoraussetzung für die Nutzung des Grundwassers ist das Vorhandensein durchlässiger, Wasser führender Gesteinsschichten, die als Grundwasserleiter bezeichnet werden.

Die Grundwassergewinnung erfolgt in der Regel durch Vertikal- oder Horizontalfilterbrunnen. Für die Bewirtschaftung des Grundwassers sind die Wasserbehörden zuständig. Es gibt umfangreiche Regelwerke und Vorschriften, welche die Benutzung regeln.

Die Nutzbarkeit von Grundwasser führenden Schichten ist an ausreichend hohe hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte ($k_f > \approx 1 \cdot 10^{-6}$ m/s) und entsprechende Mächtigkeiten gebunden. Entscheidend ist die Transmissivität. Da die Nutzungen sehr unterschiedlich sind, d. h. die Fördermengen von einigen Litern pro Sekunde bis zu über hundert l/s reichen, können Grenzen für die Transmissivität nur schwer angegeben werden, zumal diese auch noch von der Absenkung des Wasserspiegels abhängig wären. Es soll hier lediglich nochmals auf das bereits in Abschnitt 3.3.2.2 angegebene Beispiel verwiesen werden. Bei einer Absenkung des Wasserspiegels in einem Förderbrunnen um 5 m kann bei einer Transmissivität $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s eine Wassermenge von 0,5 l/s gefördert werden, wenn der Grundwasserleiter 10 m mächtig ist. Dies entspricht einem hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Je geringer die hydraulische Durchlässigkeit ist, desto höher muss die erforderliche Mächtigkeit des Grundwasserleiters sein.

3.3.3 Speicherung

3.3.3.1 Gasspeicherung

CH₄/H₂-Speicherung in ehemaligen Erdgaslagerstätten

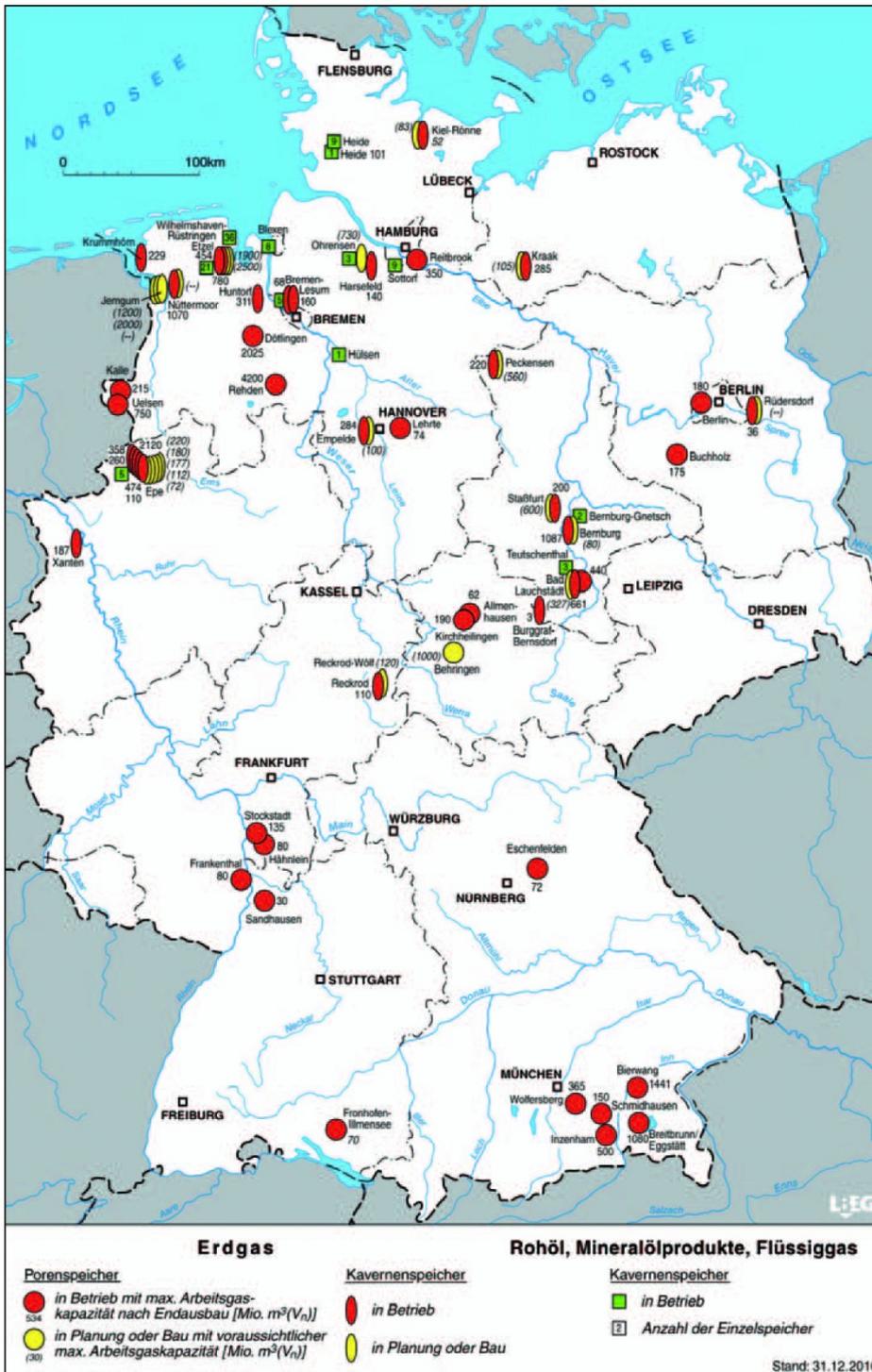
Methan (CH₄) ist Hauptbestandteil von Erdgas, wird aber zunehmend auch direkt als erneuerbarer Energieträger beispielsweise aus nachwachsenden Rohstoffen (Biogas) gewonnen.

Ausgeförderte Erdgaslagerstätten können zur längerfristigen Speicherung von Methan oder Wasserstoff verwendet werden. Sie werden in die Gruppe der Porenspeicher gezählt (Abb. 12). Dabei kann es sich um eine saisonale oder auch längerfristige Speicherung handeln. Kurzfristigere Speicherungen für Zeiträume unter einem Monat sind nicht sinnvoll, da die Zeit zum Ein- und Ausspeichern zu groß ist.

Für die Speicherung wird die durch die ehemalige Lagerstätte nachgewiesene geologische Faltenstruktur verwendet. Um das einzuspeichernde Gas in vertretbaren Zeiten zu verpressen bzw. zu fördern, muss es sich um Reservoirs mit ausreichender Permeabilität und Mächtigkeit handeln. Diese Parameter können in der Regel anhand der Daten aus der aktiven Förderung der Lagerstätte ermittelt werden. Analog verhält es sich mit der einzuspeichernden Gasmenge bzw. den möglichen Speicherdrücken.

Die entsprechenden Bandbreiten von Parametern wurden bereits im Abschnitt 3.3.2.4 aufgezeigt.

Abb. 12: Übersicht über die Untertage-Gasspeicher in Deutschland



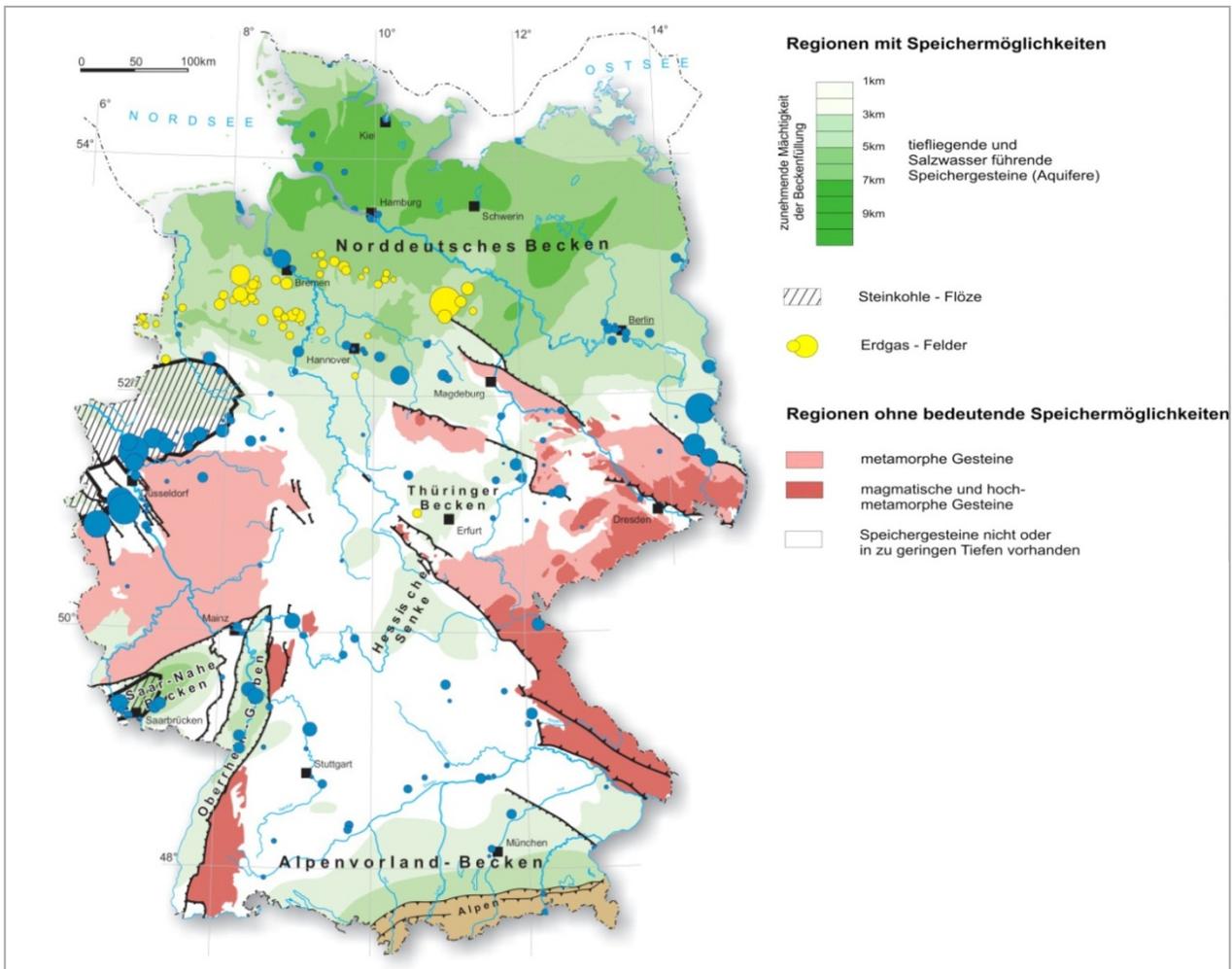
Quelle: LBEG, 2011

CH₄ /H₂-Speicherung in salinaren Grundwasserleitern

Die Speicherung in salinaren Grundwasserleitern ist analog zur Speicherung in ausgeförderten Erdgaslagerstätten. Auch sie werden unter die Porenspeicher gezählt (Abb. 13) und auch hier muss eine impermeable Deckschicht, analog einer Fallenstruktur vorhanden sein, die für die Speicherung genutzt werden kann. Die Schwierigkeit besteht dabei darin, die Fallenstruktur

sicher nachzuweisen. Auch saline Grundwasserleiter können zur längerfristigen Speicherung von Erdgas oder Wasserstoff verwendet werden. Dabei kann es sich sowohl um die Speicherung strategischer Reserven als auch um die saisonale Speicherung handeln. Kurzfristige Speicherungen sind nicht sinnvoll, da die Zeit zum Ein- und Ausspeichern auch hier zu groß ist.

Abb. 13: Regionen mit potentiellen Speicheraquifere



Quelle: Gerling, 2010

Um das einzuspeichernde Gas in vertretbaren Zeiten zu verpressen bzw. zu fördern, muss es sich um Reservoirs mit ausreichender Permeabilität und Mächtigkeit handeln. Die entsprechenden Bandbreiten von Parametern wurden bereits im Abschnitt 3.3.2.4 beschrieben.

Beim Einpressen des Gases wird das saline Reservoirfluid verdrängt. Dabei muss sichergestellt werden, dass es nicht über Störungen oder am Rand der Fallenstruktur in höher gelegene Süßwasserreservoirs gelangt und diese schädigt.

Da hier im Unterschied zu den ehemaligen Erdgaslagerstätten keine Daten aus der Förderung bekannt sind, müssen die konkreten Eigenschaften im Rahmen umfangreicher Voruntersuchungen ermittelt werden. Die Geometrie der Fallenstruktur wird dabei über sogenannte seismische Verfahren erkundet. Die Reservoirparameter müssen über Tests an Probebohrungen ermittelt werden. Die möglichen Speicherdrücke sind abhängig von der Tiefenlage des Reser-

voirs. Es muss sichergestellt werden, dass die Drücke nicht zu einer geomechanischen Beeinflussung des Stauers über dem Reservoir führen.

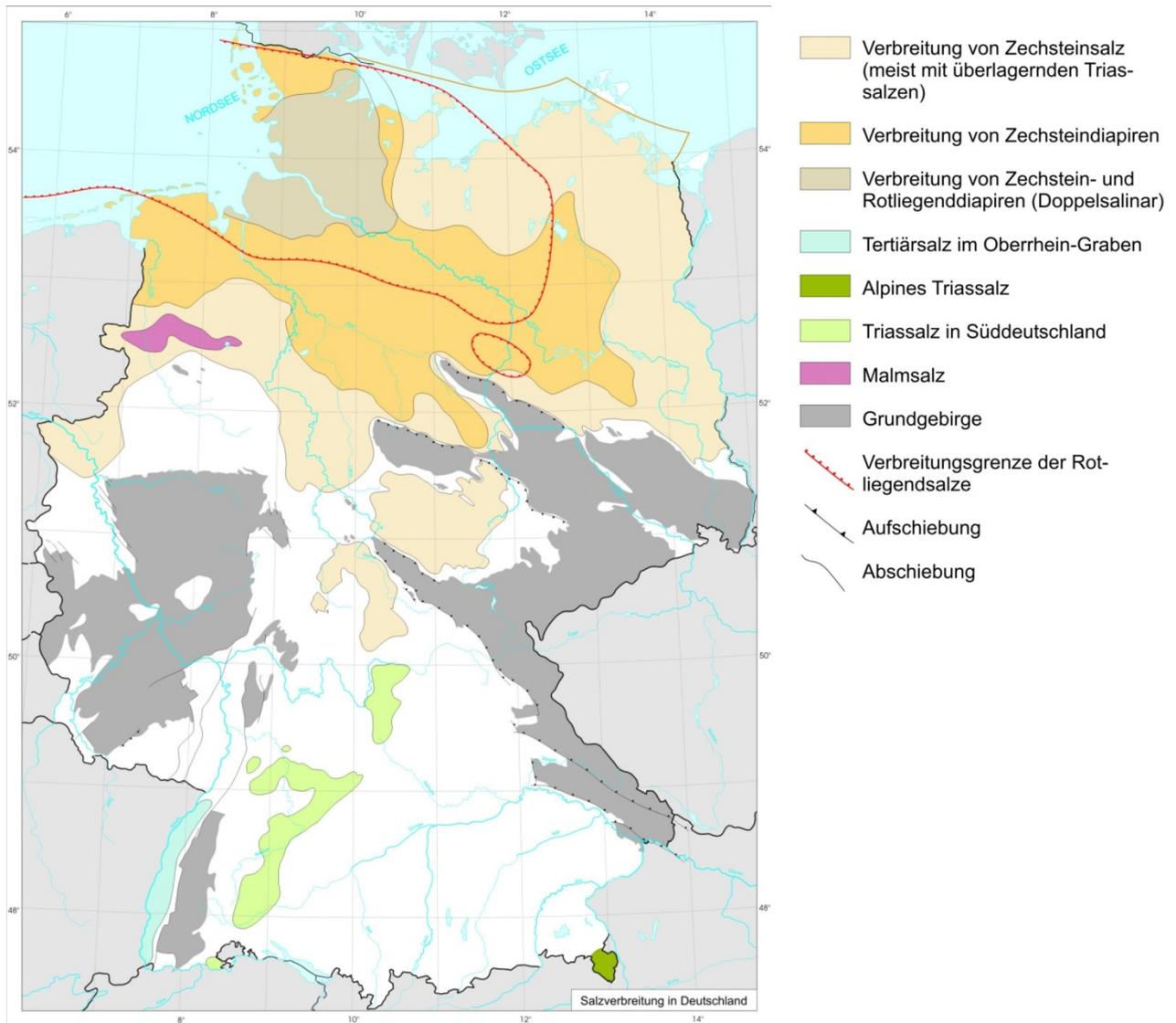
Die für derartige Speicher möglichen Strukturen sind prinzipiell bekannt. Dabei handelt es sich um die Grundwasserleiter, die grundsätzlich auch für eine geothermische Nutzung in Frage kommen. Da als zusätzliche Anforderung die Existenz einer Fallenstruktur notwendig ist, kommt allerdings nur ein begrenzter Teil dieser Strukturen in die nähere Auswahl. Ob eine Struktur tatsächlich geeignet ist, muss im Rahmen eines aufwändigen Erkundungsprogramms überprüft werden.

CH₄/H₂ und Erdöl-Speicherung in Kavernenspeichern

Die Speicherung von Erdgas und Erdöl in Kavernen ist eine bewährte Technologie, die auch auf Wasserstoff anwendbar ist. Bei den bestehenden Kavernen handelt es sich hauptsächlich um Kavernen in Salzstöcken. Salz bietet eine ausreichende Dichtigkeit und entsprechende geomechanische Stabilität.

Die Herstellung der Kaverne erfolgt über Aussolung. Dabei ist es derzeit Praxis, die Sole direkt zu verwerten oder in die Nord- oder Ostsee einzuleiten.

Abb. 14: Regionen mit für Kavernen geeigneten Salzvorkommen in Deutschland



Quelle: Gerling, 2010

Typische Kavernengrößen liegen im Bereich von 300.000 m³. In Abhängigkeit von der Größe des Salzstockes gibt es Kavernenfelder mit mehr als 20 Kavernen in einer Salzstockstruktur. Das Erdgas wird auf der Verdichterstation vom Fernleitungsdruck bis auf Kavernendruck verdichtet. Der maximale Kavernenkopfdruck beträgt bis zu 250 bar. Das Methan wird nach der Verdichtung und Kühlung über Feldleitungen in die Kavernen geleitet. Zur Auslagerung wird das Erdgas aus der Kaverne über einen Flüssigkeitsabscheider geleitet und durch eine anschließende Druckreduzierung auf den zulässigen Druck der Transportpipeline entspannt. Die beim Entspannungsprozess stattfindende Gasabkühlung wird durch eine entsprechende Gasvorwärmung kompensiert, um der Hydratbildung vorzubeugen. Bei Bedarf wird noch eine Gastrocknung durchfahren. Von dort aus wird das Gas in das Ferngasleitungsnetz eingespeist.

Grundsätzlich kommen für die Schaffung von Kavernen und deren Nutzung als Erdgas-, Erdöl- und Wasserstoffspeicher alle Salzstöcke mit Mindestmächtigkeiten im Bereich > 200 m in Frage.

Der Nachweis der tatsächlichen Eignung muss über ein detailliertes Untersuchungsprogramm nachgewiesen werden.

Druckluft

Druckluft oder CAES (compressed air energy storage), kann als Energiespeicher für dargebotsabhängige Energieerzeugungstechnologien, wie Photovoltaik oder Windkraft, dienen. Hierbei wird in Zeiten erhöhten Stromangebotes Luft auf 70 - 100 bar komprimiert und in unterirdische Speicher gepresst. Zu einem späteren Zeitpunkt kann die ausströmende Luft verwendet werden, um über eine an einen Generator gekoppelte Lauffturbine Strom zu erzeugen (RWE, 2010).

Ein zentrales Problem derartiger Druckluftspeicherkraftwerke bzw. CAES-Kraftwerke ist dabei der Umgang mit der anfallenden Wärme. Luft erwärmt sich während der Kompression und kühlt sich während der Expansion wieder ab. Zur Zeit existierende Anlagen, bspw. das Kraftwerk

Huntorf (Deutschland) oder das Kraftwerk McIntosh (USA) arbeiten adiabatisch, das heißt, sie geben während der Kompression Energie als Wärme an die Umgebung ab und müssen im Gegenzug während der Expansion die Luft erhitzen, was in der Regel mit Gasbefeuerung geschieht. Der effektive Wirkungsgrad solcher Anlagen ist daher sehr niedrig und liegt bei 42 % (Huntorf) bzw. 54 % (McIntosh); (RWE, 2010).

Echte adiabatische Kraftwerke existieren derzeit noch nicht. Das unter anderem von RWE Power getragene ADELE-Projekt soll ein adiabatisches Kraftwerk (Advanced Adiabatic-CAES) sein, bei dem die Wärme effektiv weiter genutzt wird. Hierbei sind Wirkungsgrade von etwa 70 % möglich. Eine erste Versuchsanlage soll 2013 in Staßfurt in Betrieb gehen (RWE, 2010).

Als Speicher werden dabei, ähnlich wie bei Erdgas und Wasserstoff, vor allem Kavernen in Salzstöcken diskutiert. In Betrieb befindliche Kavernen haben ein Volumen von ca. 300.000 m³ (Kampke, 2008). Neben Kavernen in Salzstöcken können auch Kavernen in entsprechend mächtige Salzschichten und Kavernen aus dem Altbergbau genutzt werden. In diesem Sinne sind auch Synergieeffekte zwischen aktivem Bergbau und einer späteren Speichernutzung denkbar.

Die Anforderungen an das Gestein für die Nutzung als Druckluftspeicher, ist weitgehend identisch mit den Anforderungen für eine CH₄/H₂-Speicherung in Kavernen (3.3.3.1)

3.3.3.2 Wärme

Bei der Wärmespeicherung im Untergrund handelt es sich meist um eine saisonale Speicherung. In der Regel wird im Sommer Wärme aus Kühlung oder Solarwärme in den Untergrund eingesteigt, die im Winter wieder zu Heizzwecken entnommen wird.

Hierbei handelt es sich um einen Spezialfall der oberflächennahen Geothermie, wobei insbesondere bei offenen Systemen Strukturen in größeren Teufen als 400 m verwendet werden können. Ansonsten gelten bei offenen Systemen die gleichen Anforderungen wie bereits bei der oberflächennahen Geothermie beschrieben.

Auch gibt es bereits Projekte, bei denen Wärme in Sondenfeldern gespeichert wird. Auch hier gelten die gleichen Aussagen wie im Bereich der Geothermie.

Bei beiden Systemen besteht jedoch der wesentliche Unterschied, dass hier keine statischen Wärmevorräte abgebaut werden, sondern eine dynamische Ein- und Ausspeisung von Wärme

erfolgt. Dadurch ist es möglich, höhere Temperaturen als entsprechend der geothermischen Tiefenstufe zu erreichen. Dies führt dazu, dass höhere spezifische Leistungen als bei vergleichbaren geothermischen Systemen ohne Einspeisung erreichbar sind.

3.3.4 Ablagerung

3.3.4.1 Soleverpressung und -versenkung

Der Unterschied zwischen Soleverpressung und Soleversenkung besteht darin, dass bei Soleverpressung Überdrücke zum Einsatz kommen, während die Versenkung aufgrund des Eigengewichtes der Sole erfolgt.

Als Strukturen werden jeweils vorhandene Grundwasserleiter, in der Regel saline Grundwasserleiter verwendet. Zur langfristigen Ablagerung muss der Grundwasserleiter durch einen ausreichend geringdurchlässigen Stauer abgedeckt sein. Daneben bewirkt die hohe Dichte der Sole, dass diese sich nicht nach oben bewegt. Deshalb sind die Anforderungen an den Stauer geringer als bei der Speicherung von Erdgas oder Wasserstoff oder der Ablagerung von CO₂.

Grundsätzlich sind die gleichen Strukturen für die Soleverpressung bzw. -versenkung nutzbar wie für die hydrothermale Geothermie. Allerdings kommen aus ökonomischen Gründen meist nur Strukturen im Bereich bis zu 1.000 m bzw. 1.500 m in Frage. Durch die hohe Dichte ist das Vorhandensein von Fallenstrukturen keine notwendige Voraussetzung für die Solespeicherung.

Analog dazu müssen ausreichende Permeabilitäten und Mächtigkeiten vorhanden sein, um die Einlagerung in vertretbaren Zeiten vornehmen zu können.

Allerdings ist zu beachten, dass hier entsprechend des Ursprungs der Zusammensetzung der Sole unterschiedlichste Anforderungen bestehen. Deshalb ist es kaum möglich, hier belastbare Parameter anzugeben. Die Permeabilität sollte sich analog zu Grundwasserleitern im Bereich von $> 10^{-13}$ m³ bewegen. Dies entspricht in etwa hydraulischen Durchlässigkeiten im Bereich von 10^{-6} m/s. Neben der Permeabilität ist für die Ablagerung die Porosität, besser die nutzbare effektive Porosität wichtig. Je größer diese ist, desto mehr Sole kann pro Einheitsvolumen Gestein abgelagert werden.

3.3.4.2 Carbon Capture and Storage (CCS)

Analog zur Speicherung von Erdgas und Wasserstoff erfordert die Ablagerung von CO₂ das Vorhandensein von geologischen Fallenstrukturen. Grundsätzlich können somit entweder ausgeförderte Erdöl- und Erdgasfelder oder aber Fallenstrukturen in salinaren Aquiferen verwendet werden (siehe Kap. 3.3.3.1).

Die Anforderungen an das Reservoir und den Stauer sind analog. Das bedeutet, dass die Permeabilität des Stauers im Bereich $< 1 \cdot 10^{-18}$ m³ bis $1 \cdot 10^{-20}$ m³ liegen sollten. Im Gegensatz dazu muss die Permeabilität des Reservoirs im Bereich $> 1 \cdot 10^{-13}$ m³ liegen. Zur Bestimmung des möglichen Speichervolumens sind neben der Mächtigkeit vor allem auch die nutzbare effektive Porosität sowie die Temperatur entscheidend. Je höher die Temperatur, desto geringer ist die Dichte des CO₂ und umso weniger CO₂ kann pro Einheitsvolumen Gestein gespeichert werden. Aufgrund der mit der Tiefe wachsenden Temperatur kommen für die CO₂-Ablagerung nur Strukturen bis zu maximal ca. 2.000 m bis 2.500 m Tiefe mit Temperaturen geringer 100 °C in Frage.

Die Ablagerung von CO₂ wird gegenwärtig kontrovers diskutiert, da bei einer Freisetzung in die Geosphäre Risiken erwartet werden. Dies betrifft den Aufstieg von Sole in hangende Stockwerke, den Aufstieg von CO₂ und dessen Wechselwirkung mit dem Grundwasser bzw. gar dessen Freisetzung in die Atmosphäre.

Beim Einpressen des Gases wird das saline Reservoirfluid verdrängt. Dabei muss sichergestellt werden, dass es nicht über Störungen oder am Rand der Fallenstruktur in höher gelegene Süßwasserreservoirre gelangt und diese schädigt.

Erfolgt eine Ablagerung im Bereich ehemaliger Erdöl- bzw. Erdgaslagerstätten sind die Reservoirparameter bekannt.

Werden Fallenstrukturen in salinaren Aquiferen benutzt, sind im Unterschied zu den ehemaligen Erdgaslagerstätten grundsätzlich keine Daten aus der Förderung bekannt. Es müssen die konkreten Eigenschaften im Rahmen umfangreicher Voruntersuchungen erst ermittelt werden. Die Geometrie der Fallenstruktur wird dabei über seismische Verfahren erkundet. Die Reservoirparameter müssen über Tests an Probebohrungen ermittelt werden. Die möglichen Speicherdrücke sind abhängig von der Tiefenlage des Reservoirs. Es muss sichergestellt werden, dass die Drücke nicht zu einer geomechanischen Beeinflussung des Stauers über dem Reservoir führen.

Die für derartige Speicher möglichen Strukturen sind prinzipiell bekannt. Dabei handelt es sich um die Grundwasserleiter, die grundsätzlich auch für eine geothermische Nutzung in Frage kommen. Da als zusätzliche Anforderung die Existenz einer Fallenstruktur notwendig ist, kommt allerdings nur ein begrenzter Teil dieser Strukturen in die nähere Auswahl. Ob eine Struktur tatsächlich geeignet ist, muss im Rahmen eines aufwändigen Erkundungsprogramms überprüft werden.

3.3.4.3 Untertage Deponie/ Endlager

Bei Untertage-Deponien und Endlagern handelt es sich meist um bergmännisch aufgefahrene Strukturen. Die Besonderheit besteht darin, dass die geologischen Strukturen eine entsprechende Barrierewirkung haben müssen. Insbesondere muss eine Migration von freigesetztem Material in das Grundwasser mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden können. Inwiefern die jeweiligen Strukturen tatsächlich geeignet sind, kann erst im Ergebnis langwieriger Erkundungen bewertet werden.

Die Bewertung ist dabei hochgradig vom einzulagernden Material abhängig. Insbesondere bzgl. der Endlagerung von radioaktivem Abfall werden in Deutschland gegenwärtig drei unterschiedliche geologische Formationen favorisiert: Salzstöcke, Granit und Tonkörper. Neben der Barrierewirkung kommt es jedoch auch auf eine möglichst hohe thermische Leitfähigkeit an, damit die beim Zerfall entstehende Wärme abtransportiert werden kann, ohne dass sich das Innere der Deponie zu stark erwärmt.

Die Suche nach geeigneten Endlagerstandorten läuft gegenwärtig auf Bundesebene mit hoher Priorität. Dabei werden die Untersuchungen und Bewertungen neu begonnen. Eine Charakterisierung bzw. Parametrisierung ist deshalb gegenwärtig kaum möglich.

3.3.5 Sonstige unterirdische Bauwerke

3.3.5.1 Technische unterirdische Bauwerke

Untertage gibt es neben den für den Rohstoffabbau und zur Stoffspeicherung geschaffenen Hohlräumen eine Vielzahl von technischen unterirdischen Bauwerken. Dabei sind wohl Tunnelbauwerke die häufigste Nutzung.

Tunnelbauwerke haben eine lange Historie als Verkehrswege und strategische Verbindungen. Sie dienen als Trasse für Leitungen der Ver- und Entsorgung, zum Landschafts- und Umweltschutz aber auch in Siedlungen zum Schutz der Einwohner vor Lärm. Dabei sind vor allem Verkehrstunnel über längere Strecken im Untergrund verbaut. Diese linienförmigen Bauwerke können auf den Grundwasserhaushalt einwirken und ggf. Absenkungen oder Anstauungen verursachen, welche wiederum zu Setzungen führen können.

Weiterhin werden größere Räume im Untergrund für Stollen, U-Bahnschächte, Tiefgaragen, Bunker, Wasserspeicher oder Tiefbehälter in Form von Zisternen eingenommen. Auch historische Keller- und Stollensysteme, welche nicht mit dem Ziel des Rohstoffabbaus geschaffen wurden, können flächenhaft größere Räume beanspruchen. Beispielsweise wurden zur Zeit des Zweiten Weltkriegs große unterirdische Schutzanlagen geschaffen. Es wird vermutet, dass sich das Projekt Riese, ein im Riesengebirge angelegte Schutzanlage flächenhaft über etwa 35 km² erstreckt (Franke, et al., o. J.). Ein weit älteres Beispiel ist das Oppenheimer Kellerlabyrinth, welches zum Zweck der Lagerflächenerweiterung gebaut wurde. Hier wurden bereits im 14. Jahrhundert Kellergänge ausgehoben und befestigt.

3.3.5.2 Untertage Pumpspeicherwerke

Untertage-Pumpspeicherwerke sollen Hohlräume des Altbergbaus nutzen. Aus großen Hohlräumen sollen Rohrleitungssysteme die Energie zu Spitzenlastzeiten der erneuerbaren Energien speichern und zu Bedarfsspitzen wieder abgeben. Die großen verzweigten Hohlräume stillgelegter Bergwerke bieten ein hohes Potenzial, ohne größere Eingriffe in die Landschaft vorzunehmen (Beck & Schmidt 2011).

Für die sich noch in der Untersuchungsphase befindlichen Technik sind die Möglichkeiten eng an die historischen und aktuellen Bergbaunutzungen gebunden.

Vorstellungen zu einem Pilotprojekt gibt es derzeit in Bad Grund im Harz, hier ist der Weimannsbuschschacht nach erfolgten Untersuchungen besonders geeignet (Beck & Schmidt 2011). Auch im Ruhrgebiet werden bereits konkrete Überlegungen zur Nachnutzung im Steinkohlebergbau angestellt z. B. für die Schachanlage Auguste Viktoria in Marl oder das Bergwerk Prosper-Haniel in Bottrop (Niemann 2011).

Unterirdische Pumpspeicherwerke als Nutzung bzw. Nutzungsmöglichkeit in Bergwerken sind deshalb bei anderen Vorhaben (bspw. Geothermische Nutzung oder Ablagerung) mit zu beachten, da es bei Nutzungen in ähnlichen Strukturen zu Konflikten kommen kann.

3.4 Nutzungskonkurrenzen

Im Folgenden werden kurz mögliche Nutzungskonkurrenzen aufgeführt.

Der Begriff Konkurrenz stammt von dem Lateinischen Wort *concurrere*, was zusammen laufen bedeutet. Demnach bestehen Konkurrenzen dort, wo Nutzungen zusammenlaufen, also in den gleichen geologischen Strukturen stattfinden.

Die Analyse zu geologischen Kriterien zur Nutzung des Untergrundes hat gezeigt, dass eine Vielzahl von Nutzungen prinzipiell in den gleichen geologischen Strukturen möglich sind (vgl. Tab. 2). Somit konkurrieren zunächst alle Nutzungen, welche in gleichen geologischen Strukturen möglich sind, wobei ein besonders hohes Konfliktpotenzial dann besteht, wenn sich das Ziel der Nutzung auf die gleichen Kriterien bezieht.

Zum Beispiel steht die Gasspeicherung von CH_4/H_2 , Druckluft in Kohlenflözen in Konkurrenz zur CO_2 -Ablagerung und zum Abbau fester Rohstoffe. Bei näherem Blick wird aber deutlich, dass die genannten Nutzungen unterschiedliche Anforderungen an definierenden Kriterien der jeweiligen Strukturen haben. So haben CO_2 -Ablagerung und Gasspeicherung gleiche Anforderungen, die Anforderungen an den Abbau fester Rohstoffe sind jedoch gänzlich unterschiedlich. Demnach bedarf es einer spezifischen Fallbetrachtung, um genau über die Nutzungskonkurrenzen zu entscheiden. Gegebenenfalls kann auch die zeitliche Reihenfolge von Nutzungen bei der Bewertung von Konkurrenzsituationen von Bedeutung sein. So ist es denkbar, dass nach dem Abbau fester Rohstoffe die entstandenen Hohlräume für verschiedene Speicherungen/ Ablagerungen genutzt werden können.

Im strukturunabhängigen Untergrund konkurrieren prinzipiell Untertagedeponien/Endlager mit Unterirdischen Pumpspeicherwerken, technischen Bauwerken, petrothermaler Geothermie und geschlossener flacher Geothermie/Wärmespeichern. Den geschlossenen Systemen kommt dabei eine Sonderstellung zu, weil sie im Idealfall nur in eine thermische Wechselwirkung mit ihrer Umgebung treten. Sie sind daher prinzipiell in jeder Art von geologischer Struktur möglich. Sie stellen damit die einzige Nutzung dar, die gegebenenfalls parallel zu anderen Nutzungen betrieben werden kann. Ob und in welchem Umfang dies möglich ist, kann nur im Einzelfall entschieden werden.

In freien Aquiferen konkurrieren prinzipiell die Grundwassernutzung mit der oberflächennahen Geothermie (offen/geschlossen), der Wärmespeicherung (offen/geschlossen) und der Hydrothermalen Geothermie.

In abgedeckten Aquiferen herrschen prinzipiell die gleichen Nutzungskonkurrenzen wie in freien Aquiferen. Da sich abgedeckte Aquifere aber prinzipiell auch zur Einlagerung von Gasen eignen, konkurrieren hier noch zusätzliche Nutzungen wie die Gasspeicherung, sowie CCS, Untertage-Deponien und die Soleverpressung/-versenkung miteinander.

Konventionelle Öl- und Gasvorkommen sind vor allem über die mit ihnen verbundenen strukturellen Fallen definiert. Daher konkurrieren hier prinzipiell die Förderung der Kohlenwasserstoffe mit CCS, Untertage-Deponien und Soleverpressung/-versenkung. Dabei ist CCS unter Umständen parallel zur Förderung der Kohlenwasserstoffe möglich.

Unkonventionelle Öl- und Gasvorkommen können eigentlich nur zur Förderung von Kohlenwasserstoffen genutzt werden.

Die offensichtliche Nutzung mineralischer Rohstoffvorkommen ist der Abbau. Dennoch kann in denselben Gesteinen prinzipiell auch petrothermale Geothermie oder eine Untertage-Deponie/Endlager betrieben werden. Letzteres unter Umständen in den Kavernen bzw. Hohlräumen, die der Bergbau hinterlassen hat.

In Kohlenflözen konkurrieren vor allem verschiedene Gewinnungskonzepte miteinander. So kann zum einen die Kohle an sich gefördert werden, zum anderen kann aus Kohleflözen Methan gewonnen werden. Dies kann entweder durch direkte Förderung des adsorptiv gebundenen Methans oder über die Untertage-Vergasung der Kohle geschehen. Die Adsorptionseigenschaften der Kohle ermöglichen aber auch die Speicherung von Gasen bzw. CCS, welche ebenfalls konkurrierende Nutzungen darstellen.

In stratiformen Salzlagerstätten und Salzstöcken kann prinzipiell Salz abgebaut werden. Aufgrund der Gesteinseigenschaften des Salzes sind diese Strukturen sehr gut geeignet um Kavernen in ihnen zu schaffen, die sich für Gasspeicherung, CCS, Soleverpressung/-Versenkung und Untertage-Deponien eignen.

4 Unterirdische Nutzungskonkurrenzen

4.1 Einleitung

Im vorangegangenen Abschnitt wurden geologische Strukturen beschrieben und unterirdischen Nutzungen zugeordnet. Weiterhin wurden entscheidende Parameter abgeleitet, welche für die Nutzung des Untergrundes entsprechend qualitativ ausgeprägt sein müssen. Folglich entstehen Konkurrenzsituationen, wenn verschiedene Parameter für Nutzungen zusammenlaufen.

Um Abwägungskriterien herauszustellen, müssen unterirdische Konkurrenzsituationen genau beleuchtet werden. Dabei sind verschiedene Typen von Auswirkungen möglich: geochemische, geomechanische, geohydraulische und geothermische Wirkfolgen. Diese können i. S. der Störfallverordnung bestimmungsgemäß und nicht bestimmungsgemäß verlaufen. Deren tatsächliche Ausprägung und Intensität ist jedoch nicht ganzheitlich vorhersehbar. Um aber eine annähernde Folgeabschätzung leisten zu können, sind spezifische Fallbetrachtungen notwendig.

Im Folgenden Bericht werden systematisch Konkurrenzsituationen aufgeführt und hinsichtlich ihrer Bedeutung für eine gleichzeitige und darauffolgende horizontale und vertikale Nutzung des Untergrundes analysiert.

Dabei dient der vorangegangene Abschnitt als Arbeitsgrundlage.

4.2 Grundlagen

4.2.1 Allgemein

Die Erschließung unterirdischer Nutzungen bedarf immer einer umfangreichen Vorarbeit, um möglichst viele und detaillierte Informationen über das Zielgebiet, sowie umliegende und darüber liegende Gesteine und Schichten zu erhalten. Diese Arbeiten werden aus wirtschaftlichen und genehmigungsrechtlichen Gründen jedoch erst durchgeführt, wenn eine entsprechende bergrechtliche Erlaubnis bzw. Bewilligung vorliegt.

Untersuchungsverfahren, u. a. zur Geologie, Geophysik und Hydrogeologie, ermöglichen ein Abbild des Untergrundes. Der Kenntnisstand verbessert sich dabei mit dem Untersuchungsaufwand. Die möglichen Auswirkungen der einzelnen Nutzungen auf einen bestimmungsgemäßen bzw. nicht bestimmungsgemäßen Betrieb können schrittweise besser definiert werden.

Bestimmungsgemäße Auswirkungen sind zu erwartende Auswirkungen, die im Regelbetrieb auftreten bzw. auftreten können. Diesen stehen Auswirkungen entgegen, die sich aus Störungen im Regelbetrieb oder durch das Antreffen unerwarteter Umstände ergeben. Diese werden als Auswirkung im nicht bestimmungsgemäßen Betrieb gesondert betrachtet. Die Begriffe bestimmungsgemäßer bzw. nicht bestimmungsgemäßer Betrieb sind gebräuchlich auf Projektebene. Sie sollen nachfolgend im verallgemeinerten Sinne auch für die Raumplanung verwendet werden, da in den raumplanerisch festgelegten Bereichen (3D-Räumen im Untergrund) letztlich Einzelprojekte durchgeführt werden, bei denen es zu einem nicht bestimmungsgemäßen Betrieb kommen kann, der von der Art und der Intensität der Nutzung abhängig ist. Deshalb ist es notwendig, die Konsequenzen, die sich ggf. aus einem nicht bestimmungsgemäßen Betrieb ergeben, bei der Raumplanung zu berücksichtigen. Dies sollte auf Risikoanalysen beruhen.

Die gegenseitigen Beeinflussungen werden in dieser Arbeit in vier grundsätzliche Kategorien unterteilt: in geochemische, geomechanische, geohydraulische und geothermische Beeinflussungen. Was darunter verstanden werden soll, wird in den Abschnitten 4.2.2 bis 4.2.5 separat erläutert.

In Abschnitt 4.3 werden dann die jeweiligen Beeinflussungen differenziert nach Nutzungen betrachtet.

4.2.2 Geochemische Beeinflussungen

Unter geochemischen Beeinflussungen werden Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung in Gesteinen und Fluiden verstanden.

Grundsätzlich können zwei Typen geochemischer Beeinflussung differenziert werden. Für bestimmte Nutzungen beschränken sich die geochemischen Veränderungen auf die genutzte Struktur. Dies ist beispielsweise bei der Gasspeicherung in Kavernen der Fall. Die vorhandene Sole wird durch das zu speichernde Gas ersetzt, ohne dass es zu einer geochemischen Interaktion mit der Umgebung kommt. Andere Nutzungen hingegen führen zum geochemischen Austausch mit dem umgebenden Gestein bzw. nicht genutzten Teilen der jeweiligen Struktur. Bei der Gasspeicherung in Aquiferen wird beispielsweise die vorhandene Sole verdrängt, welche sich ggfs. innerhalb des Aquifers in benachbarte Felder ausbreiten kann und dort zu Aufsalzungen führen kann.

In diesem Bericht werden vor allem die strukturübergreifenden (bzw. feldübergreifenden) geochemischen Beeinflussungen, die für die eigentliche Fragestellung von Bedeutung sind, betrachtet.

4.2.3 Geomechanische Beeinflussungen

Unter geomechanischer Beeinflussung werden räumliche Lageveränderungen oder Änderungen des Spannungszustandes verstanden. Dies können beispielsweise Hebungen und Senkungen sein, welche durch Druckveränderungen in Aquiferen verursacht werden. Andere Beispiele sind Erdfälle und Verbrüche in unterirdische Hohlräume. Auch die Reaktivierung verheilter Störungen oder die Bildung neuer Störungen, wie sie beispielsweise bei der hydraulischen Stimulation auftreten können, fällt unter geomechanische Beeinflussungen. Teilweise äußern sich diese Prozesse durch künstliche Erdbeben, hier spricht man von „induzierter Seismizität“.

Geomechanische Beeinflussungen stehen in engem Zusammenhang mit geohydraulischen und geochemischen Beeinflussungen, da neu entstehende Störungs- und Kluftsysteme Migrationswege für Fluide darstellen. Geomechanische Beeinflussungen können also die gesteinsphysikalischen Parameter eines Gesteins erheblich verändern.

4.2.4 Geohydraulische Beeinflussungen

Unter geohydraulische Beeinflussungen fallen alle Veränderungen im Druckregime der Fluide innerhalb einer Struktur oder einer Lagerstätte. Bei vielen der betrachteten unterirdischen Nutzungen werden Fluide gefördert oder in den Untergrund verbracht. Jeder dieser Prozesse verändert auch den Fluiddruck innerhalb der jeweils betroffenen Struktur. Damit ändert sich auch das lokale Spannungsfeld im Gestein. Als Folge dieser Druckveränderungen kann es dann zu geomechanischen Veränderungen oder Migrationsbewegungen, also zu geochemischen Veränderungen, kommen.

4.2.5 Geothermische Beeinflussungen

Als geothermische Beeinflussungen versteht man durch Nutzungen induzierte Änderungen des lokalen oder regionalen Temperaturfeldes. Wärmefördernde Prozesse wie die hydrothermale oder die petrothermale Geothermie führen beispielsweise oft zu einer Abkühlung der genutzten Gesteine, während beispielsweise die Endlagerung radioaktiven Abfalls zu einer Erwärmung der genutzten Gesteine führen könnte. In welcher Stärke solche geothermischen Beeinflussungen auftreten, ist maßgeblich von den gesteinsphysikalischen Parametern und dem hydraulischen System abhängig.

4.3 Typen der Beeinflussung nach Nutzungen

4.3.1 Allgemeines

Um Aussagen darüber treffen zu können, ob und in welcher Weise Nutzungen miteinander in Konkurrenz stehen, muss ermittelt werden, in welcher Weise eine jeweilige Nutzung die umgebenden Strukturen beeinflusst bzw. beeinflussen kann. Daher wird jede der in dieser Arbeit betrachteten Nutzungen bezüglich der möglichen Beeinflussungstypen (siehe Kap. 4.2) betrachtet.

Grundsätzlich können mögliche Beeinflussungen, gemäß ihres Auftretens während der Erschließung bzw. während des Betriebes einer unterirdischen Nutzung, unterschieden werden.

Da sich Beeinflussungen durch Erschließungskonzepte in der Regel auf den Vorgang der Erschließung beschränken, werden diese Erschließungskonzepte in diesem Abschnitt unabhängig von konkreten Nutzungen betrachtet. Es gibt Erschließungskonzepte, die zu dauerhaften Behinderungen für andere Nutzungen führen, wie es beispielsweise beim Auffahren unterirdischer Hohlräume oft der Fall ist.

Es lassen sich verschiedene Erschließungskonzepte differenzieren:

1. Bohrungen
2. Bohrungen mit hydraulischer oder chemischer Stimulation
3. Konventioneller Bergbau
4. Aussolung von Kavernen

Für den überwiegenden Teil der unterirdischen Nutzungen werden eine oder mehrere Bohrungen abgeteuft (gebohrt). Einen Sonderfall stellt in dieser Hinsicht die hydraulische bzw. chemische Stimulation dar, welche bei einigen unterirdischen Nutzungen als zusätzliches Erschließungskonzept nach dem Bohren erfolgt.

Für andere Nutzungen werden, entweder mit Mitteln des konventionellen Bergbaus oder durch Aussolung, Hohlräume geschaffen.

Es wird bei jeder betrachteten Nutzungsart noch einmal kurz erläutert, welche Konzepte der Nutzung zugrunde liegen und welches Erschließungskonzept in der Regel genutzt wird.

4.3.2 Erschließungskonzepte

4.3.2.1 Bohrungen

Bohrungen werden überall dort angewendet, wo ein flüssiges oder gasförmiges Medium transportiert werden soll. Es ist technisch möglich, mehrere tausend Meter tiefe Bohrungen mit sehr variablen Bohrpfad (Schrägbohrungen, Horizontalbohrungen) niederzubringen, die es erlauben, ein Ziel in optimaler Weise zu durchteufen. Der Enddurchmesser eines solchen Bohrloches liegt üblicherweise deutlich unter 1 m. Der Einflussbereich eines Bohrloches ist von einer Vielzahl geologischer Faktoren abhängig und kann von wenigen Dezimetern bis zu mehreren Kilometern reichen.

Beeinflussungen durch das Abteufen von Bohrungen im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Keine
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Druckänderungen
Geothermisch	temporäre Änderungen des lokalen Temperaturfeldes. Je nach Tiefe der Bohrung im Top-Bereich Erwärmung und im unteren Bereich Abkühlung

Beeinflussungen durch das Abteufen von Bohrungen im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Hydraulischer Kurzschluss durchteufter Schichten kann folgende geochemische Beeinflussungen verursachen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Kontamination wasserführender Schichten ○ Chemische Reaktionen zwischen Schichten ○ Kontamination Oberfläche durch Kohlenwasserstoffe (KW) / Wasser / Schlamm ○ Kontamination durchteufter Schichten durch Bohrspülung
geomechanisch	Erzeugung ungewollter Migrationswege
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen Schwere Unfälle durch Erschließen von Hochdruckzonen (Blowout, Arteser)
Geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.2.2 Hydraulische und chemische Stimulation

Bohrungen mit hydraulischer oder chemischer Stimulation werden überall dort verwendet, wo die vorhandene Permeabilität für bestimmte unterirdische Nutzungen zu gering ist. Die betrifft sowohl die Förderung konventioneller und unkonventioneller Öl- und Gaslagerstätten als auch die Förderung von Grundwasser oder Thermalwasser.

Beeinflussungen durch hydraulische oder chemische Stimulation im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Ggfs. verbleiben Stützmittel im Gestein
-------------	---

Ökologisch problematische Stimulationsfluide müssen entsorgt werden oder verbleiben teilweise in der Formation.

- geomechanisch Erzeugung künstlicher Rissysteme oder Erweiterung vorhandener Rissysteme im Gesteinsverband
- geohydraulisch Erzeugung künstlicher Rissysteme oder Erweiterung vorhandener Rissysteme in Gesteinsverbänden verbessert Permeabilität und schafft sekundäre Porosität
- geothermisch temporäre Abkühlung des lokalen Temperaturfeldes.

Beeinflussungen durch hydraulische oder chemische Stimulation im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

- Geochemisch ungewollte Migration innerhalb geologischer Schichten
 - Kontamination geologischer Schichten durch KW, Sole oder Stimulationsfluid
 - Chemische Reaktionen zwischen Gestein und Stimulationsfluid, Wasser oder anderen Komponenten
 - Kontamination bzw. Beeinflussung der Oberfläche durch KW, Sole Wasser oder Stimulationsfluide
- geomechanisch Ungewollte Rissbildung, Schaffung von Migrationswegen in benachbarten Gesteinskörpern
- geohydraulisch Schaffung ungewollter hydraulischer Verbindungen
- geothermisch Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.2.3 Schaffung von Hohlräumen durch konventionellen Bergbau

Die Schaffung von Hohlräumen meint das Auffahren von unterirdischen Hohlräumen aller Art. Dies können beispielsweise Verkehrstunnel oder Bergwerksanlagen sein. Üblicherweise geschieht dies durch Sprengtechnik oder, für Tunnel, durch den Einsatz spezieller Tunnelbohrmaschinen (TBM).

Beeinflussungen durch das Auffahren von Hohlräumen im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

- Geochemisch Keine
- geomechanisch Spannungsumlagerungen (langfristig Oberflächensenkungen, auch wenn keine Nutzung erfolgt).
- geohydraulisch Wasserhaltung erfordert in vielen Fällen eine lokale Absenkung des Wasserspiegels. Diese bleibt auch im Betrieb der Anlage erhalten
- geothermisch Gegebenenfalls leichte Änderungen im lokalen Temperaturfeld durch Bewetterung und Wasserdynamik

Beeinflussungen durch das Auffahren von Hohlräumen im nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch:

- Geochemisch *Kontamination von Nebengestein, Grundwasser oder Oberfläche durch Abraum*

und Grubenwässer

geomechanisch	Einfluss auf die Stabilität des Nebengesteins, mit Risiko für Bergschäden
geohydraulisch	Grundwasserabsenkung kann umliegende Felder beeinflussen Schwere Unfälle durch Erschließen von Hochdruckzonen
geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.2.4 Schaffung von Kavernen durch Aussolung

Aussolung meint das Einbringen von Wasser durch Bohrungen in eine Salzstruktur. Durch das Auflösen des Salzes werden Hohlräume erzeugt. Das annähernd salzgesättigte Wasser (Sole) wird über Bohrungen an die Oberfläche verbracht und von dort entsorgt oder zur Salzproduktion genutzt.

Beeinflussungen durch die Schaffung von Kavernen im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Anfallende Sole muss entsorgt bzw. genutzt werden.
geomechanisch	Spannungsumlagerungen, (langfristig Oberflächensenkungen, auch wenn keine Nutzung erfolgt).
geohydraulisch	Keine
geothermisch	Gegebenenfalls leichte Änderungen im lokalen Temperaturfeld

Beeinflussungen durch die Schaffung von Kavernen im nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Kontamination des Nebengesteins oder der Oberfläche durch Sole
geomechanisch	Einfluss auf die Stabilität des Nebengesteins bzw. des Wirtsgesteins, mit Risiko für Bergschäden
geohydraulisch	Schwere Unfälle durch Erschließen von Hochdruckzonen
geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.3 Speicherung

4.3.3.1 Gasspeicherung in Aquiferen (CH₄, H₂)

Für die Betrachtung der möglichen Beeinflussungen der Gasspeicherung muss zwischen einer Gasspeicherung in einem Aquifer und einer Gasspeicherung in einer Kaverne differenziert werden.

Für die Gasspeicherung in Aquiferen müssen im Allgemeinen Bohrungen abgeteuft bzw. können Altbohrungen genutzt werden.

Beeinflussungen durch die Gasspeicherung in Aquiferen im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Verdrängung von Sole innerhalb des Aquifers Veränderung des Porenfluids
geomechanisch	Senkungen und Hebungen des Deckgebirges durch Volumenänderung des Aquifers bei Einspeicherung/Ausspeicherung

geohydraulisch	Druckänderung innerhalb des Aquifers bei Einspeicherung bzw. Ausspeicherung
geothermisch	Gegebenenfalls leichte Änderungen des lokalen Temperaturfelds

Beeinflussungen durch die Gasspeicherung in Aquiferen im nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Kontamination des Nebengesteins oder der Oberfläche durch austretende Sole oder Gas
geomechanisch	Reaktivierung oder Entstehung von Störungen und damit Schaffung von Migrationswegen Induzierte Seismizität möglich
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.3.2 Gasspeicherung in Kavernen (CH₄, H₂, Druckluft)

Bezüglich der Erschließung ist die Gasspeicherung in Kavernen ein Sonderfall, insofern als das sowohl Bohrungen abgeteuft als auch Hohlräume geschaffen werden müssen. Sowohl Kavernen als auch Bohrungen können unter Umständen schon aus anderen Nutzungen vorhanden sein.

Beeinflussungen durch Gasspeicherung in Kavernen im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Keine (Sole wird durch Gas ersetzt)
geomechanisch	Spannungsänderungen in der Kavernenkontur; Kriechvorgänge (Konvergenz); Schädigung des Wandmaterials; Oberflächensetzung
geohydraulisch	Druckänderungen innerhalb der Kaverne durch Ein- bzw. Ausspeicherung
geothermisch	Ggfs. geringe Änderungen des lokalen Temperaturfeldes

Beeinflussungen durch Gasspeicherung in Kavernen im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Migration des gespeicherten Gases ins Nebengestein, Grundwasser, oder an die Oberfläche
geomechanisch	Reaktivierung oder Entstehung von Störungen und damit Schaffung von Migrationswegen Kaverne kann instabil werden (Bergschäden/Verbruch)
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.4 Ablagerung

Carbon Capture and Storage (CCS)

Für CCS werden vor allem saline Aquifere oder ausgeförderte KW-Lagerstätten diskutiert, welche durch Bohrungen erschlossen werden müssen bzw. schon erschlossen sind.

Beeinflussungen durch CCS im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Verdrängung von Sole innerhalb des Aquifers CO ₂ breitet sich im Aquifer aus Chemische Reaktion entstehender Kohlensäure mit Nebengestein
geomechanisch	Hebungen des Deckgebirges durch Volumenänderung des Aquifers bei Einspeicherung
geohydraulisch	Druckänderung innerhalb des Aquifers bei Einspeicherung
geothermisch	Gegebenenfalls geringe Abkühlung des lokalen Temperaturfeldes

Beeinflussungen durch CCS im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Ausbreitung von CO ₂ oder Sole im Nebengestein, Grundwasser oder der Erdoberfläche Chemische Reaktion entstehender Kohlensäure mit Nebengestein und technischen Anlagen (Bohrungen)
geomechanisch	Reaktivierung oder Entstehung von Störungen und damit Schaffung von Migrationswegen Induzierte Seismizität möglich
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.4.1 Untertagedeponie / Endlager

Für Untertagedeponien bzw. Endlager werden entweder vorhandene Hohlräume aus dem Altbergbau oder neu geschaffene Hohlräume/Kavernen genutzt.

Beeinflussungen durch Untertagedeponien/Endlager im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Keine (Deponiegut bleibt fixiert)
geomechanisch	Kriechvorgänge (Konvergenz); Schädigung des Wandmaterials; Oberflächensetzung
geohydraulisch	Keine
geothermisch	Bei radioaktivem Müll gegebenenfalls Erwärmung

Beeinflussungen durch Untertagedeponien/Endlager im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Kontamination von Nebengestein oder der Erdoberfläche mit dem Deponiegut
geomechanisch	Kaverne bzw. Hohlraum kann instabil werden -> Bergschäden/Verbruch
geohydraulisch	Keine
geothermisch	Bei geringer Wärmeleitfähigkeit des Nebengesteins kann es zu Wärmestau und damit starker Erwärmung kommen.

4.3.4.2 Soleverpressung/-versenkung

Die Soleverpressung/-versenkung nutzt saline Aquifere, welche mit Bohrungen erschlossen werden müssen.

Beeinflussungen durch Soleverpressung/-versenkung im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Gegebenenfalls Änderung der Salinität der vorhandenen Sole
geomechanisch	Hebungen des Deckgebirges durch Volumenänderung des Aquifers bei Einspeicherung
geohydraulisch	Druckänderung innerhalb des Aquifers bei Einspeicherung
geothermisch	Gegebenenfalls geringe Temperaturänderung

Beeinflussungen durch Soleverpressung/-versenkung im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Ausbreitung von Sole im Nebengestein, Grundwasser oder der Erdoberfläche
geomechanisch	Reaktivierung oder Entstehung von Störungen und damit Schaffung von Migrationswegen Induzierte Seismizität möglich
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Keine zusätzlichen Temperaturveränderungen

4.3.5 Gewinnung

4.3.5.1 Grundwassernutzung

Die Grundwassernutzung (inklusive Heil-, Mineral-, Thermal-, Trink und Brauchwasser) erfolgt über Bohrungen. Im Einzelfall kann hydraulische oder chemische Stimulation zum Einsatz kommen.

Beeinflussungen durch Grundwassernutzung im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Keine (Wasser wird entnommen und strömt aus dem Aquifer nach)
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Geringe Druckabsenkung durch Entnahme
geothermisch	Keine

Beeinflussungen durch Grundwassernutzung im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Ausbreitung von Wasser in Nebengestein Kontamination anderer Aquifere Reaktion mit Nebengestein
geomechanisch	Reaktivierung oder Entstehung von Störungen und damit Schaffung von Migrationswegen Senkungen/Induzierte Seismizität möglich Druckänderungen durch Erschließung von Hochdruckzonen
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Keine

4.3.5.2 Offene flache Geothermie und Wärmespeicher

In der offenen flachen Geothermie und Wärmespeicher wird Wasser über Bohrungen aus Aquiferen gefördert und reinjiziert.

Beeinflussungen durch offene flache Geothermie und Wärmespeicher im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	ggfs. Einbringen von Luft über das Arbeitsmedium
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Druckänderungen durch Förderung und Reinjektion von Wasser
geothermisch	Änderung des lokalen Temperaturfeldes bei Förderung und Reinjektion

Beeinflussungen durch offene flache Geothermie und Wärmespeicher im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Ausbreitung von Wasser in Nebengestein
geomechanisch	Reaktivierung oder Entstehung von Störungen und damit Schaffung von Migrationswegen Induzierte Seismizität möglich
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Bei ungünstiger Bohrungslage Beeinflussung benachbarter Felder

4.3.5.3 Geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher

In der geschlossenen flachen Geothermie und Wärmespeicher zirkuliert das Arbeitsmedium innerhalb abgeschlossener Sonden innerhalb von Bohrungen.

Beeinflussungen durch geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	reversible Effekte auf Mikrobiologie
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Keine
geothermisch	Änderung des lokalen Temperaturfeldes im Betrieb

Beeinflussungen durch geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Irreversible Schädigung der Mikrobiologie (bei gestörtem Gleichgewicht und Temperaturschwankungen $> 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
geomechanisch	Veränderung der Gesteinseigenschaften durch Vereisung
geohydraulisch	Veränderung der Gesteinseigenschaften durch Vereisung
geothermisch	Bei ungünstiger Bohrungslage Beeinflussung benachbarter Felder

4.3.5.4 Hydrothermale Geothermie

In der hydrothermalen Geothermie wird Wasser über Bohrungen aus Aquiferen gefördert und das abgekühlte Wasser reinjiziert.

Beeinflussungen durch hydrothermale Geothermie im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	ggfs. Einbringen von Luft über das Arbeitsmedium
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Druckänderungen durch Förderung und Reinjektion von Wasser
geothermisch	Großräumige Abkühlung des Temperaturfeldes durch Reinjektion

Beeinflussungen durch Grundwassernutzung im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Ausbreitung von Wasser in Nebengestein
geomechanisch	Reaktivierung oder Entstehung von Störungen und damit Schaffung von Migrationswegen Induzierte Seismizität möglich
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen Beeinflussung des Wasserspiegels benachbarter Felder
geothermisch	Bei ungünstiger Bohrungslage Beeinflussung benachbarter Felder

4.3.5.5 Petrothermale Geothermie

In der petrothermalen Geothermie wird Wasser über Bohrungen in künstliche Rissysteme injiziert und anschließend das erwärmte Wasser gefördert. Die künstlichen Rissysteme werden mittels hydraulischer Stimulation erzeugt.

Beeinflussungen durch petrothermale Geothermie im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	ggfs. Einbringen von Luft über das Arbeitsmedium
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Druckänderungen durch Injektion von Wasser
geothermisch	Großräumige Abkühlung des Temperaturfeldes durch Injektion

Beeinflussungen durch petrothermale Geothermie im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Chemische Interaktion der heißen Fluide mit technischen Anlagen Chemische Interaktion der heißen Fluide mit dem Nebengestein: Laugungsreaktionen Fällungsreaktionen
geomechanisch	Keine (nach hydraulischer Stimulation)
geohydraulisch	Keine (nach hydraulischer Stimulation)
geothermisch	Keine

4.3.5.6 Konventionelle und unkonventionelle Öl- und Gasförderung

In der konventionelle und unkonventionelle Öl- und Gasförderung werden Öl und Gas über Bohrungen aus einem Reservoir gefördert. Da hydraulische und chemische Stimulation der Reservoirs heute sowohl bei der unkonventionellen als auch bei der konventionellen Öl- und Gasförderung zu den üblichen Methoden gehören, ist eine getrennte Betrachtung nicht notwendig.

Beeinflussungen durch Öl- und Gasförderung im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Änderung der Zusammensetzung des Porenfluids. Ggfs. Nachströmen von Wasser
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Druckänderungen durch Förderprozesse
geothermisch	Geringe Temperaturänderungen

Beeinflussungen durch Öl- und Gasförderung im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Kontamination Nebengestein mit KW
geomechanisch	Unter Umständen kann es zur Bildung bzw. Reaktivierung von Störungen kommen Induzierte Seismizität möglich Setzungen durch Druckabbau im Reservoir
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.5.7 Abbau fester Rohstoffe im Tiefbau

Der Abbau fester Rohstoffe stellt eine Sonderform der Schaffung unterirdischer Hohlräume (Abschnitt 4.3.2.3) dar, da während des gesamten Betriebs eines untertägigen Abbaus Kavernen geschaffen und wieder verfüllt werden.

Für den Abbau von Salz mittels Aussolung gelten die Ausführungen in Abschnitt 4.3.2.4.

4.3.5.8 Abbau fester Rohstoffe im Fluidbergbau

Der Abbau fester Rohstoffe im Fluidbergbau meint das Verbringen eines geeigneten Lösungsmittels (meist Säuren) durch Bohrungen in einen permeablen Gesteinsverband. Dort wird das Erzmineral gelöst und anschließend die wertstoffhaltige Lösung durch Förderbohrungen abgepumpt.

Beeinflussungen durch Fluidbergbau im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Keine (Auflösung der Erzminerale)
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Druckänderungen durch Einspeisung des Lösungsmittel
geothermisch	Geringe Temperaturänderungen

Beeinflussungen durch Fluidbergbau im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Kontamination Nebengestein mit dem Lösungsmittel und dem Wertstoff durch unkontrollierte Migration
geomechanisch	Unter Umständen kann es zur Bildung bzw. Reaktivierung von Störungen kommen Verbrüche/Bergschäden/Setzungen durch Volumenverlust der Erzkörper Induzierte Seismizität möglich
geohydraulisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen
geothermisch	Keine zusätzlichen Beeinflussungen

4.3.5.9 Untertage-Vergasung von Kohle

Für die Untertagevergasung müssen mehrere Bohrungen abgeteuft werden in denen dann Oxidationsmittel injiziert bzw. Synthesegas gefördert werden.

Beeinflussungen durch Untertage-Vergasung von Kohle im bestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Keine (Gastransport in geschlossenem Kreislauf)
geomechanisch	Keine
geohydraulisch	Druckerhöhung innerhalb des Kohleflözes
geothermisch	Lokale Temperaturerhöhung

Beeinflussungen durch Untertage-Vergasung von Kohle im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch:

Geochemisch	Unkontrollierte Migration beteiligter Gase in Nebengestein bzw. an die Oberfläche Unkontrollierte Ausbreitung des Brandes
geomechanisch	Unter Umständen kann es zur Bildung bzw. Reaktivierung von Störungen kommen Induzierte Seismizität möglich Setzungen durch Volumenverlust im Kohlenflöz
geohydraulisch	Schaffung hydraulischer Verbindungen
geothermisch	Unkontrollierte starke Temperaturerhöhung

4.3.6 Unterirdische Bauwerke

Die Beeinflussung durch unterirdische Bauwerke entspricht denen bei der Schaffung unterirdischer Hohlräume (Abschnitt 4.3.2.3) und wird daher nicht noch einmal separat betrachtet.

4.3.7 Zusammenfassung

Es wurde aufgezeigt, dass für fast jede Nutzung auch eine Reihe möglicher Beeinflussungen existieren, welche Einfluss auf andere Nutzungen haben. Problematisch ist dabei, dass es kaum möglich ist, die Tragweite solcher Beeinflussungen, vor allem beim nichtbestimmungsgemäßen Betrieb einzuschätzen bzw. einzugrenzen.

Im Jahr 2007 wurden im Stadtzentrum von Staufen (Breisgau) mehrere Erdwärmesonden niedergebracht. Die Bohrungen schafften einen Migrationspfad, durch den Wasser in den Anhyd-

rid einer Gipskeuperschicht eindringen konnte. Die Umwandlung des Anhydrits in Gips führte dabei zu einer Volumenverdopplung. Der Untergrund hob sich im Verlauf von zwei Jahren teilweise über 2 m (Ruch, 2010) und verursachte so Schäden an über 200 Häusern. Die reinen Gebäudeschäden werden dabei auf über 41 Mio. € geschätzt (hcw, 2009).

Im Dezember 2006 kam es in Basel im Zuge des Ausbaues eines geothermischen Reservoirs zu einem Erbeben mit einer Magnitude von 3.4, wodurch Sachschäden von 7 Mio. CHF (~ 4.5 Mio. €) verursacht wurden. Die Arbeiten wurden zunächst ausgesetzt. Nachfolgende Studien kamen zu dem Ergebnis, dass bei einem Fortsetzen der Arbeiten mit weiteren Beben mit maximalen Amplituden von 4.5 zu rechnen sei. Die wahrscheinlichen Schäden würden sich auf etwa 40 Mio. CHF (~ 26.7 Mio. €), im Extremfall bis zu 600 Mio. CHF (~ 400 Mio. €), belaufen (Baisch, et al., 2009).

Im Jahr 2009 traten in Landau in der Pfalz mehrere kleine Erdbeben mit einer maximalen Magnitude von 2.7 auf. Diese wurde von der eingesetzten Expertengruppe auf den Betrieb eines Geothermiekraftwerkes zurückgeführt. Da die Tiefenlage des Erdbebens der Tiefenlage des genutzten Reservoirs entspricht, wird davon ausgegangen, dass die Erdbeben durch die Erhöhung des Porenwasserdrucks während der Reinjektion verursacht wurden. Die verursachten Schäden sind allerdings vergleichsweise gering mit Summen zwischen 200 und 1.200 € in 63 gemeldeten Fällen (Keilen, Robrecht, & Bode, 2010).

Die Beispiele zeigen, dass die verursachten Schäden und damit die resultierenden Kosten bei ähnlich gelagerten Fällen wie im Fall Landau und im Fall Basel sehr unterschiedlich sein können. Der Fall Staufen zeigt, dass auch relativ einfache Projekte das Potential haben sehr große Schäden anzurichten, die mit entsprechenden Folgekosten verbunden sind. Wie groß die Tragweite einer Beeinflussung im nichtbestimmungsgemäßen Gebrauch ist, hängt also nicht nur von der zugrundeliegenden Nutzung sondern einer Vielzahl von Begleitumständen ab. Es ist daher nicht möglich, die Beeinflussungen nach ihrer Tragweite zu differenzieren.

4.4 Nutzungskonkurrenzen

4.4.1 Grundannahmen und Definitionen: Nutzungsraum, Struktur, Stockwerk, Feld, etc.

Um den Sachverhalt der Nutzungskonkurrenz begrifflich fassen zu können, müssen zunächst einige Grundbegriffe erläutert werden.

Grundsätzlich geht es immer um die Nutzung eines begrenzten dreidimensionalen geologischen Raumes für Gewinnung, Speicherung, Ablagerung oder unterirdische Bauwerke. Dieser für eine Nutzung vom Raumplaner festgelegte begrenzte dreidimensionale Raum wird im Weiteren als **Nutzungsraum** bezeichnet. Als Grundlage für diese Festlegung werden vom geologischen Fachexperten für die einzelnen Nutzungen **potenzielle Nutzungsräume** im dreidimensionalen Raum abgegrenzt. Die Nutzung ist dabei in der Regel an eine oder mehrere übereinander, in tektonisch bedingten Fällen auch nebeneinander liegende geologische Formationen mit den für die Nutzung notwendigen Eigenschaften gebunden. Diese Formationen werden auch **Strukturen** genannt.

Dabei kann sich der Nutzungsraum aus mehreren **Projekträumen** zusammensetzen. Bei Projekträumen innerhalb eines Nutzungsraumes handelt es sich um gleichartige Nutzungen. Unter dem Begriff **Feld** wird im bisherigen Sinne des Bergrechts im Folgenden die horizontale Ausdehnung des Projektraumes verstanden. Analog zur bisherigen Praxis beziehen sie Erlaubnisse

und Bewilligungen stets auf den Projektraum. Im Unterschied zur bisherigen Praxis ist der Projektraum für eine bestimmte Nutzungsart jedoch dreidimensional begrenzt. Es kann zukünftig somit mehrere gleichartige Nutzungen untereinander geben, die unterschiedlichen Projekträumen entsprechen, obwohl es sich bspw. aus bergrechtlicher Sicht im bisherigen Sinne um das gleiche Feld handelt. In diesem Sinne kann von einer stockwerksweisen Nutzung gesprochen werden. Das heißt, wenn eine Struktur in vertikaler Richtung durch Barrieren begrenzt ist, so ist es grundsätzlich technisch/geologisch möglich, oberhalb (bzw. unterhalb) der Barriere andere Nutzungen zu erlauben. Eine Struktur zwischen zwei Barrieren wird auch als **Stockwerk** bezeichnet. Eine stockwerksweise Nutzung ist häufig dann möglich, wenn die nutzbaren geologischen Strukturen in vertikaler Richtung durch geologische Barrieren begrenzt sind, weil durch die Barriere die Auswirkungen der Nutzung räumlich begrenzt werden. Bei Barrieren handelt es sich meist um gering durchlässige Gesteinsschichten.

Die Abgrenzung der Projekträume untereinander kann grundsätzlich nach ähnlichen Regeln erfolgen wie die Festlegung des Nutzungsraumes selbst. Das bedeutet, dass die verschiedenen Auswirkungen (s.o.) an der Grenze des Projektraumes auf ein bestimmtes Maß begrenzt werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass zu restriktive Festlegungen hinsichtlich der Auswirkungen an der Grenze von Projekträumen dazu führen, dass die Ressourcen des Untergrundes nicht vollständig genutzt werden können. Allerdings ist auch eine Festlegung der Größe der Projekträume entsprechend der bisherigen Praxis, d.h. der Festlegung von Feldesgrößen im Bereich des Bergbaus, der Geothermie oder auch der Öl- und Gasgewinnung möglich. Hierbei muss die dreidimensionale Begrenzung auf die zu nutzende Struktur bzw. der Strukturen einschließlich Pufferzone (entsprechend Definition des Nutzungsraumes) beachtet werden.

Zudem ist zu beachten, dass der Begriff Feld in der Geologie auch teilweise für Lagerstätten verwendet wird. Dies ist hier mit dem Feldbegriff nicht gemeint.

Trotz der räumlichen Begrenzung der Nutzung gibt es bei den meisten Nutzungen auch im bestimmungsgemäßen Betrieb Auswirkungen auf Bereiche außerhalb des für die eigentliche Nutzung vorgesehenen Raumes. Diese können zu Einschränkungen von weiteren Nutzungen im Umfeld führen. Deshalb ist es naheliegend, folgende Anforderung an die Größe des Nutzungsraumes zu stellen:

1. Der Nutzungsraum ist in seiner Größe so zu definieren, dass die Auswirkungen an den Grenzen des Nutzungsraumes für alle in Frage kommenden weiteren Nutzungen akzeptabel sind und für diese keine Einschränkungen darstellen. Diese Anforderung ist beispielsweise kompatibel mit der in der hydrothermalen Geothermie üblichen Festlegung der Größe von Erlaubnis- bzw. Bewilligungsfeldern auf Projektebene, wobei es sich dabei allerdings um gleichartige Nutzungen handelt.
2. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Auswirkungen an der Grenze des Nutzungsraumes überschritten werden, darf für jede Auswirkung einen jeweils spezifischen Wert nicht überschreiten. Bspw. kann die akzeptable Wahrscheinlichkeit, dass eine maximal akzeptable Temperaturänderung an der Grenze des Nutzungsraumes überschritten wird aus der Sicht der Bearbeiter höher sein, als bspw. die Wahrscheinlichkeit der Schädigung vorhandener Barrieren. Für die Nutzungskonkurrenz mit Nutzungen an der Erdoberfläche müssen hingegen die Risiken (Produkt aus Wahrscheinlichkeit des Auftretens mal Konsequenz) an der Erdoberfläche betrachtet werden. Sie dürfen einen spezifischen noch festzulegenden Wert nicht überschreiten.

Eine Nutzung in einer Struktur kann wegen der aus dem nicht bestimmungsgemäßen Betrieb einer Nutzungsart (bspw. CO₂-Ablagerung oder radioaktive Endlagerung) resultierenden Risiken für Nutzungen an der Erdoberfläche an einer Stelle akzeptabel sein (bspw. in gering besiedelten Gebieten) und an anderer Stelle nicht (bspw. unter einer Großstadt). Der einzige Unterschied sind die möglichen Risiken im nicht bestimmungsgemäßen Betrieb.

Mit den möglichen aus einer Nutzung resultierenden Konsequenzen (Risiken) aus dem nicht bestimmungsgemäßen Betrieb auf Projektebene steht die gesamte Nutzung und damit die Zuordnung von Nutzungsräumen grundsätzlich in Frage. Somit muss dieser Aspekt bereits in die Raumplanung Eingang finden. Durch die Vorgabe dieser Wahrscheinlichkeiten für die unterirdische Auswirkungen auf weitere unterirdische Nutzungen und die Berücksichtigung der Risiken für Nutzungen an der Erdoberfläche wird der nicht bestimmungsgemäße Betrieb mit abgebildet. Letztlich müssen diese Wahrscheinlichkeiten bzw. Risiken auf der Grundlage von Risikoanalysen für die jeweils vorgesehene konkrete Nutzung präzisiert werden.

Dazu ist es erforderlich, methodische Vorgaben zur Bestimmung dieser Wahrscheinlichkeiten bzw. Risiken zu machen. Diese Fragestellung liegt außerhalb des vorliegenden Projektrahmens.

4.4.2 Arten von Nutzungskonkurrenzen

Es gibt vielfältige Konkurrenzen in der Nutzung des unterirdischen Raumes. Im Weiteren soll unterschieden werden zwischen:

- lokaler Konkurrenz
- Konkurrenz innerhalb einer Struktur bzw. eines Stockwerkes
- Konkurrenzen in der stockwerksweisen Nutzung
- Konkurrenz mit Nutzungen an der Erdoberfläche

Die Konkurrenz in der zeitlichen Abfolge der Nutzung wird hier explizit ausgeklammert. Hiermit ist gemeint, dass es Nutzungen gibt, die zu einer solchen Veränderung des Untergrundes führen, dass sich die Eigenschaften des Untergrundes so verändern, dass nachfolgende anderweitige Nutzungen nicht mehr möglich sind. Bspw. ist dies durchgängig bei Ablagerungen der Fall. Besonders deutlich wird dies bspw. am Unterschied in der Nachnutzungsmöglichkeit bei CCS auf der einen Seite und bei der tiefen Geothermie auf der anderen Seite. Bei für CCS vorgesehene Nutzungsräume gibt es in der Regel keine Nachnutzungsmöglichkeiten, da das CO₂ gemäß KSpG dauerhaft zu speichern (im Sinne der hier verwendeten Begriffe abzulagern) ist. Im Gegensatz dazu sind für tiefe Geothermie vorgesehene Nutzungsräume nach Beendigung dieser Nutzung nahezu uneingeschränkt anderweitig nutzbar.

Diese Konkurrenz in der zeitlichen Abfolge stellt einen Aspekt bei der raumplanerischen Abwägung dar und ist deshalb mit den weiteren hier betrachteten Nutzungskonkurrenzen nicht vergleichbar.

Für jede Nutzung ist für die Festlegung der Größe des Nutzungsraumes grundsätzlich vom bestimmungsgemäßen Betrieb auszugehen. Deshalb wird die Nutzungskonkurrenz auch unter dem Blickwinkel des bestimmungsgemäßen Betriebes betrachtet. Auswirkungen des nicht bestimmungsgemäßen Betriebes müssen im Rahmen von Risiko- und Vulnerabilitätsprüfungen abgeschätzt werden. Diese Bewertungen müssen von den geologischen Fachexperten durchge-

führt werden. Die Ergebnisse dieser Prüfungen werden in die Abwägung einbezogen (siehe auch Abschnitt 4.4.4).

Die Grundlage für die Erläuterung der Konkurrenz zwischen den unterschiedlichen Nutzungen bildet die in Tab.1 dargestellte Matrix. Sie verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Nutzungen und nutzbaren Strukturen. Eine um die charakteristischen Eigenschaften der Strukturen ergänzte Matrix ist als Anlage 2 beigefügt.

Tab. 1: Zusammenhang zwischen Nutzung und nutzbaren geologischen Strukturen bzw. Vorkommen

Nutzungen		Nutzbare geologische Strukturen / Vorkommen							
		struktur-unabhängiger Untergrund	Aquifer (frei)	Aquifer (abgedeckt)	konventionelle Gas/Ölvorkommen	unkonventionelle Gas/Ölvorkommen	mineralische Rohstoffvorkommen	Kohlenflöze	Salzstöcke und stratiforme Salzlagerstätten
Speicherung	Gasspeicherung CH ₄ /H ₂ , Druckluft			X	X			X	X
Ablagerung	Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)			X	X			X	X
	Untertage-Deponie Endlager	X					X		X
	Soleverpressung / -versenkung			X	X				X
Gewinnung	Grundwassernutzung		X	X					
	offene flache Geothermie und Wärmespeicher		X	X					
	geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher	X	X	X	X		X	X	X
	Hydrothermale Geothermie		X	X					
	Petrothermale Geothermie	X					X		
	konventionelle Öl- und Gasförderung				X				
	unkonventionelle Öl- und Gasförderung					X		X	
	Abbau fester Rohstoffe / Fluidbergbau						X	X	X
	Untertagevergasung von Kohle						X		
Unterirdische Bauwerke	Unterirdische Pumpspeicherwerke	X							
	technische Bauwerke	X							

4.4.3 Lokale Konkurrenzen

Unter lokaler Konkurrenz wird eine Nutzungskonkurrenz verstanden, die sich auf den gleichen Nutzungsraum bezieht. Die innerhalb einer nutzbaren Struktur konkurrierenden Nutzungen werden jeweils für diese Strukturen nachfolgend aufgelistet.

Einige der in den jeweiligen nutzbaren Strukturen aufgeführten Nutzungen wurden mehr aus formalen Gründen berücksichtigt (im Sinne von prinzipiell denkbar), da bei einigen der Strukturen die Art der Struktur explizit eine bestimmte Nutzungsart favorisiert. Wenn das der Fall ist, wurde die favorisierte Nutzungsart hervorgehoben. Die weiteren Nutzungen können nach Beendigung der favorisierten Nutzung durchgeführt werden.

Aquifer (frei)

- Grundwassernutzung
- offene flache Geothermie und Wärmespeicher
- geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- Hydrothermale Geothermie

Aquifer (abgedeckt)

- Gasspeicherung CH₄/H₂
- Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- Soleverpressung/-versenkung
- Grundwassernutzung
- offene flache Geothermie und Wärmespeicher
- geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- Hydrothermale Geothermie

"konventionelle Gas/Ölvorkommen"

- Gasspeicherung CH₄/H₂
- Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- Soleverpressung /-versenkung
- geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- konventionelle Öl- und Gasförderung

unkonventionelle Gas/Ölvorkommen

- geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- unkonventionelle Öl- und Gasförderung

mineralische Rohstoffvorkommen

- Untertage-Deponie Endlager
- geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- Petrothermale Geothermie
- Abbau fester Rohstoffe/Fluidbergbau

Kohlenflöze

- Gasspeicherung CH₄/H₂
- Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- unkonventionelle Gasförderung
- Abbau fester Rohstoffe/Fluidbergbau
- Untertagevergasung von Kohle

Salzstöcke und stratiforme Salzlagerstätten

- Gasspeicherung CH₄/H₂, Druckluft
- Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- Untertage-Deponie Endlager
- Soleverpressung/-versenkung
- geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- Abbau fester Rohstoffe/Fluidbergbau

Auf die Darstellung der Struktur-unabhängigen Nutzungen wurde verzichtet.

Bei Vorliegen einer lokalen Konkurrenz muss in jedem Falle eine Priorisierung der Nutzungen erfolgen. Dazu ist eine Einzelfallprüfung notwendig. Diese orientiert sich sowohl an geologischen Aspekten unter Berücksichtigung der tatsächlich im Nutzungsraum vorliegenden Parameter (d. h. Einzelfallprüfung) einschließlich der Eigenschaften von ggf. vorhandenen Barrieren. In diesem Zusammenhang ist auch der nicht bestimmungsgemäße Betrieb und dessen mögliche Auswirkungen insbesondere auf Nutzungen an der Erdoberfläche und Schutzgüter (siehe Abschnitt 4.4.6) zu berücksichtigen. Auch politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen können eine Rolle spielen.

4.4.4 Konkurrenzen innerhalb von Stockwerken/ Strukturen

Unter Konkurrenz innerhalb von Stockwerken / Strukturen wird eine Nutzungskonkurrenz verstanden, die sich auf die gleiche Struktur, aber auf benachbarte Nutzungsräume bezieht. Eine Konkurrenz ist dann gegeben, wenn mögliche durch eine Nutzung hervorgerufene Beeinflussungen andere Nutzungen ausschließen können. Wenn der Nutzungsraum, wie oben vorgeschlagen so groß gewählt wird, dass die Auswirkungen am Rand des Nutzungsraumes für andere Nutzungen akzeptabel sind, dann werden benachbarte Nutzungen nicht ausgeschlossen. Die Größe der Nutzungsräume ist abhängig von der konkreten Nutzung. Die Festlegung des Nutzungsraumes muss neben der Nutzungsart auch auf der Intensität der Nutzung beruhen. Dabei sind die geochemischen, geomechanischen, geohydraulischen und die geothermischen Auswirkungen sowie zusätzlich die Auswirkung für Einschränkungen an der Erdoberfläche zu berücksichtigen. Grundlage für derartige Festlegungen sind Detailuntersuchungen bzw. Erkundungen der jeweiligen Struktur und des geologischen Umfeldes inkl. hangender und liegender Schichten. Die innerhalb einer nutzbaren Struktur konkurrierenden Nutzungen sind analog zur Konkurrenz im Nutzungsraum.

Auf die Darstellung der Struktur-unabhängigen Nutzungen wurde wieder verzichtet.

Bei Vorliegen einer Konkurrenz innerhalb eines Stockwerkes oder einer Struktur müssen zunächst die notwendigen potenziellen Nutzungsräume für die einzelnen Nutzungen bestimmt werden. Danach muss eine gegenseitige Abwägung der Nutzungen stattfinden, um eine Priorisierung festlegen zu können. In diesen Abwägungsprozess müssen die geologischen Aspekte unter Berücksichtigung der tatsächlich im Nutzungsraum vorliegenden Parameter einschließlich der Eigenschaften von ggf. vorhandenen Barrieren berücksichtigt werden. Auch wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen können hierbei eine Rolle spielen. Diese Abwägung erfordert demzufolge eine enge Zusammenarbeit zwischen dem geologischen Fachexperten und den Raumplanern.

4.4.5 Konkurrenzen in der stockwerksweisen Nutzung

Die Betrachtung einer stockwerksweisen Nutzung kann nur schematisch geführt werden. Es werden solche Fälle betrachtet, bei denen in untereinander liegenden Stockwerken unterschiedliche Nutzungen stattfinden. Das bedeutet, dass zumindest Teile der zugeordneten Nutzungsräume übereinander liegen (sie überlappen sich, wenn sie auf die Kartenebene projiziert werden). Die Diskussion beschränkt sich auf diese untereinander liegenden Bereiche. Für die Diskussion spielt es dabei keine Rolle, ob sich nur Teile der Nutzungsräume horizontal (auf der Karte) überlappen. Liegt keine Überlappung der Nutzungsräume in der Kartenebene vor, so resultieren auch keine Einschränkungen für beide Nutzungen, da die Auswirkungen außerhalb der Nutzungsräume per Definition (siehe oben) für andere Nutzungen akzeptabel sind.

Die nachfolgende Diskussion bezieht sich auf Nutzungen unterschiedlicher Stockwerke, bei denen sich die Nutzungsräume jedoch auf der Karte überlappen.

Unter der stockwerksweisen Nutzung wird verstanden, dass sich Nutzungsräume über bzw. untereinander befinden. Analog zur Konkurrenz von Nutzungen innerhalb eines Stockwerkes muss zunächst sichergestellt sein, dass jeder Nutzungsraum (auch in vertikaler Richtung) so groß festgelegt wird, dass außerhalb des Nutzungsraumes keine nicht tolerablen Auswirkungen vorhanden sind. Was unter tolerabel zu verstehen ist, ist Gegenstand dieses Abschnittes und wird im Folgenden betrachtet werden.

So führt das Vorhandensein von Barrieren in der Regel dazu, dass die Auswirkungen weitestgehend auf die genutzte Struktur beschränkt bleiben. Sollte keine solche Barriere vorhanden sein, die in der Lage ist, die Auswirkungen auf ein tolerables Maß zu reduzieren, so ist der Nutzungsraum folglich in vertikaler Richtung so zu erweitern, bis die Auswirkungen außerhalb des Nutzungsraumes akzeptabel sind.

Damit ist der Nutzungsraum und dessen Größe sowohl abhängig von der Art der Nutzung, deren Intensität und auch den lokal vorhandenen geologischen Verhältnissen. Daraus resultiert, dass die Nutzungsräume für unterschiedliche Nutzungen in einer Struktur sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung unterschiedlich groß sind. So kann der Fall eintreten, dass die Barrierewirkung einer stauenden Schicht für eine Nutzung ausreichend ist, für andere nicht.

Der erste Aspekt der Konkurrenz der stockwerksweisen Nutzung besteht somit darin, dass sich Nutzungsräume ggf. über mehrere Stockwerke erstrecken, obwohl der direkt genutzte Bereich nur in einem Stockwerk liegt. Dadurch werden ggf. in den darüber liegenden Stockwerken Nutzungen ausgeschlossen.

Ein weiterer Aspekt der Konkurrenz der stockwerksweisen Nutzung besteht darin, dass trotz sich nicht überlappender Nutzungsräume eine Nutzung unterhalb einer anderen auszuschließen ist, weil die Erschließung nicht mehr möglich ist.

Nachfolgend werden die einzelnen Nutzungen unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte analysiert.

Dazu werden die Nutzungen entsprechend der nutzbaren Strukturen dargestellt. Es erfolgt eine Einschätzung, ob darüber oder darunter liegende Strukturen mit höherer oder geringerer Wahrscheinlichkeit beeinflusst werden, der Nutzungsraum über die genutzte Struktur (z. B. Aquifer-Barriere-Komplex) hinaus zu erweitern wäre. **Die Einschätzung zu Einschränkungen für benachbarte Stockwerke ist jedoch stets standortabhängig und bedarf einer ausreichenden Erkundungsdichte. Pauschalaussagen sind nicht möglich.**

1. Struktur-unabhängiger Untergrund

- a) Untertage-Deponie Endlager
- b) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- c) Petrothermale Geothermie
- d) Unterirdische Pumpspeicherwerke
- e) technische Bauwerke

Bei den Nutzungen Untertage-Deponien und Endlager gibt es bereits im bestimmungsgemäßen Betrieb Auswirkungen auf über und unter der eigentlich genutzten Struktur befindliche Bereiche. Deshalb muss der Nutzungsraum diese Bereiche mit einschließen. Die Nutzungsräume müssen demzufolge vertikal entsprechend ausgedehnt werden. Dies erfolgt vor allem vor dem Hintergrund der Sicherheit. Bei diesen Nutzungen werden auch Erschließungen ausgeschlossen. Gleiches gilt für unterirdische Pumpspeicherwerke und für technische Bauwerke. Erschließungen müssen einen Mindestabstand einhalten.

2. Aquifer (frei)

- a) Grundwassernutzung
- b) offene flache Geothermie und Wärmespeicher
- c) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- d) Hydrothermale Geothermie

Bei keiner Nutzung sind signifikante Einschränkungen zu erwarten, lediglich kann es entsprechend der gängigen Praxis dazu kommen, dass Erschließungsarbeiten in Trinkwasserschutzgebieten aus Gründen der Vorsorge ausgeschlossen, eingeschränkt oder mit erheblichen Auflagen versehen werden.

3. Aquifer (abgedeckt)

- e) Gasspeicherung CH_4/H_2
- f) Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- g) Soleverpressung /-versenkung
- h) Grundwassernutzung
- i) offene flache Geothermie und Wärmespeicher

- j) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- k) Hydrothermale Geothermie

Bei Gasspeicherung, CCS und Soleverpressung kann es zu Einschränkungen in den darüber oder darunter befindlichen Stockwerken kommen. Das bedeutet, dass die Nutzungsräume entsprechend auf diese Stockwerke zu erweitern sind. Erschließungsarbeiten werden erschwert bzw. ausgeschlossen. Bohrungen durch derartig genutzte Bereiche sind möglich, erfordern jedoch einen höheren technischen Aufwand. Eine Beeinflussung einer bestehenden Nutzung durch die Erschließung muss ausgeschlossen sein. Bergbau, d. h. die Auffahrung von Schächten in derartig genutzten Bereichen ist nach Stand der Technik auszuschließen.

4. "konventionelle Gas/Ölvorkommen"

- l) Gasspeicherung CH₄/H₂
- m) Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- n) Soleverpressung /-versenkung
- o) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- p) konventionelle Öl- und Gasförderung

Bei Gasspeicherung, CCS und Soleverpressung kann es zu Einschränkungen in den darüber oder darunter befindlichen Stockwerken kommen. Das bedeutet, dass die Nutzungsräume entsprechend auf diese Stockwerke zu erweitern sind. Erschließungsarbeiten werden erschwert bzw. ausgeschlossen. Bohrungen durch derartig genutzte Bereiche sind möglich, erfordern jedoch einen höheren technischen Aufwand. Eine Beeinflussung einer bestehenden Nutzung durch die Erschließung muss ausgeschlossen sein. Bergbau, d. h. die Auffahrung von Schächten in derartig genutzten Bereichen ist nach Stand der Technik auszuschließen.

5. unkonventionelle Gas/Ölvorkommen

- q) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- r) unkonventionelle Öl- und Gasförderung

Bei unkonventioneller Öl- und Gasförderung kann es zu Einschränkungen in den darüber oder darunter befindlichen Stockwerken kommen. Das bedeutet, dass die Nutzungsräume entsprechend auf diese Stockwerke zu erweitern sind. Auch Erschließungsarbeiten werden in diesen Bereichen ausgeschlossen. Dies betrifft sowohl Bohrungen als auch Auffahrungen.

6. mineralische Rohstoffvorkommen

- s) Untertage-Deponie Endlager
- t) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- u) Petrothermale Geothermie
- v) Abbau fester Rohstoffe/Fluidbergbau

Nutzungseinschränkungen für darüber oder darunter befindliche Bereiche bestehen in jedem Falle für Untertage-Deponien und Endlager, für petrothermale Geothermie und für den Abbau fester Rohstoffe / Fluidbergbau. Die Nutzungsräume müssen demzufolge ver-

tikal entsprechend ausgedehnt werden. Dies erfolgt vor allem vor dem Hintergrund der Sicherheit. Bei diesen Nutzungen werden auch Erschließungen ausgeschlossen. Erschließungen müssen einen Mindestabstand einhalten.

7. Kohlenflöze

- w) Gasspeicherung CH_4/H_2
- x) Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- y) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- z) unkonventionelle Gasförderung
- aa) Abbau fester Rohstoffe/Fluidbergbau
- bb) Untertagevergasung von Kohle

Bei Gasspeicherung, CCS und Soleverpressung kann es zu Einschränkungen in den darüber oder darunter befindlichen Stockwerken kommen. Das bedeutet, dass die Nutzungsräume entsprechend auf diese Stockwerke zu erweitern sind. Erschließungsarbeiten werden erschwert bzw. ausgeschlossen. Bohrungen durch derartig genutzte Bereiche sind möglich, erfordern jedoch einen höheren technischen Aufwand. Eine Beeinflussung einer bestehenden Nutzung durch die Erschließung muss ausgeschlossen sein. Bergbau, d. h. die Auffahrung von Schächten in derartig genutzten Bereichen ist nach Stand der Technik auszuschließen.

8. Salzstöcke und stratiforme Salzlagerstätten

- cc) Gasspeicherung CH_4/H_2 , Druckluft
- dd) Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)
- ee) Untertage-Deponie Endlager
- ff) Soleverpressung/-versenkung
- gg) geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher
- hh) Abbau fester Rohstoffe/Fluidbergbau

Bei diesen geologischen Strukturen bleiben die Auswirkungen in der Regel auf die Struktur selbst beschränkt. Lediglich bei Endlagern sind aus Gründen der Vorsorge auch darüber und darunter befindliche Strukturen in den Nutzungsraum aufzunehmen.

In der nachfolgenden Tab. 2 werden die diskutierten Konkurrenzen nochmals als Überblick dargestellt.

Tab. 2: Überblicksdarstellung der Nutzungen (rot hinterlegt), die möglicherweise zu einer Einschränkung in Nutzungen von darüber oder darunter befindlichen Stockwerken führen.

Mögliche Nutzungen nach Struktur und relevanten Kriterien

Nutzungen		Nutzbare geologische Strukturen							
		struktur-unabhängiger Untergrund	Aquifer (frei)	Aquifer (abgedeckt)	konventionelle Gas-/Ölvorkommen	unkonventionelle Gas-/Ölvorkommen	mineralische Rohstoffvorkommen	Kohlenflöze	Salzstöcke und stratiforme Salzlagertstätten
Speicherung	Gasspeicherung CH ₄ /H ₂ , Druckluft			x	x			x	x
Ablagerung	Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)			x	x			x	x
	Untertage-Deponie Endlager	x					x		x
	Soleverpressung / -versenkung			x	x				x
Gewinnung	Grundwassernutzung		x	x					
	offene flache Geothermie und Wärmespeicher		x	x					
	geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher	x	x	x	x		x	x	x
	Hydrothermale Geothermie		x	x					
	Petrothermale Geothermie	x					x		
	konventionelle Öl- und Gasförderung				x				
	unkonventionelle Öl- und Gasförderung					x		x	
	Abbau fester Rohstoffe / Fluidbergbau						x	x	x
Untertagevergasung von Kohle							x		

4.4.6 Konkurrenz mit Nutzungen an der Erdoberfläche

4.4.6.1 Allgemeine Betrachtungen

Die formale Definition der Nutzungsräume über die Limitierung der Auswirkungen (siehe Abschnitt 4.4.1) führt dazu, dass es prinzipiell auch möglich ist, dass sich der Nutzungsraum bis an die Erdoberfläche erstreckt. Damit kann es zu Konkurrenzen mit Nutzungen und auch zu Risiken an der Erdoberfläche kommen.

Analog zur Konkurrenz der untertägigen Nutzungen muss zunächst der bestimmungsgemäße Betrieb betrachtet werden. An der Erdoberfläche stellen sich jedoch die Anforderungen an die maximal zulässigen Beeinflussungen anders dar, als im tiefen Untergrund. Wenn in diesem Zusammenhang von Erdoberfläche gesprochen wird, ist hier der oberflächennahe Bereich, der infrastrukturell genutzt wird bzw. auch sämtliche Schutzgüter mit eingeschlossen.

Aus der Sicht der Bearbeiter sind für die geochemischen, geohydraulischen, geomechanischen und geothermischen Beeinflussungen gegenüber dem tiefen Untergrund abweichende Ansätze hinsichtlich der als akzeptabel anzusehenden Auswirkungen anzusetzen (s. u.). Gleiches gilt für die möglichen auftretenden Risiken. Hier muss im Rahmen von Risikoanalysen nachgewiesen werden, dass die aus der unterirdischen Nutzung resultierenden Risiken tolerabel sind.

Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass eine Konkurrenz mit Nutzungen an der Erdoberfläche dazu führen wird, dass derartige unterirdische Nutzungen genau dann nicht genehmigt und durchgeführt werden dürfen, wenn die Auswirkungen auf die Erdoberfläche nicht akzeptabel, d.h. die Risiken zu hoch sind. Mit Erdoberfläche wird hier die Oberkante der obersten geologischen Schichten sowie auch Schutzgüter in den obersten geologischen Schichten gemeint. D. h. auf dem Festland handelt es sich um die Erdoberfläche einschließlich der Bereiche in denen sich Schutzgüter (siehe unten) befinden. Im Bereich von Meeren und Seen bzw. Flüssen handelt es sich um den jeweiligen Meeres-, See- oder Flussboden, den darüber befindlichen Wasserkörper sowie ebenfalls die in den obersten Bodenschichten befindlichen Bereiche in denen sich Schutzgüter befinden.

Die für diese Betrachtung notwendigen Schutzgüter, wurden im Teilvorhaben 2 herausgearbeitet. Es handelt sich um die folgenden Schutzgüter:

- Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt (Nr. 1),
- Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft (Nr. 2) und
- Kultur- und sonstige Sachgüter (Nr. 3).

Die Schutzgüter Nr. 1 und 2 schließen hierbei den Meeresboden sowie den Lebensraum im Meer mit ein. Außerdem ist hierbei zu beachten, dass im Schutzgut Nr. 2 das Grundwasser enthalten ist, welches selbst einer Nutzung unterliegt und folglich Nutzungsräume definiert werden müssen. Für diese spezielle Nutzung gibt es allerdings eine gängige Praxis und entsprechende gesetzliche Grundlagen.

4.4.6.2 Unterirdische Nutzungen mit erhöhtem Konfliktpotenzial zu Nutzungen an der Erdoberfläche

Beeinflussungen an der Erdoberfläche (d. h. Beeinflussung von Schutzgütern) betreffen die gleichen Nutzungen, wie die, bei denen Auswirkungen in darüber liegenden Stockwerken nicht auszuschließen sind. Auf diese wird in den Ausführungen in Abschnitt 4.4.5 Bezug genommen. Es handelt es sich um die folgenden Nutzungen:

9. Struktur-unabhängiger Untergrund

Auswirkungen auf die Erdoberfläche sind für Untertage-Deponien und Endlager und für petrothermale Geothermie nicht auszuschließen.

10. Aquifer (frei)

Bei keiner Nutzung sind signifikante Einschränkungen zu erwarten.

11. Aquifer (abgedeckt)

Bei Gasspeicherung, CCS und Soleverpressung kann es zu Auswirkungen auf die Erdoberfläche kommen.

12. "konventionelle Gas-/Ölvorkommen"

Bei Gasspeicherung, CCS und Soleverpressung kann es zu Auswirkungen auf die Erdoberfläche kommen.

13. unkonventionelle Gas-/Ölvorkommen

Bei unkonventioneller Öl- und Gasförderung kann es zu Beeinflussungen im Bereich der Erdoberfläche, insbesondere im Zusammenhang mit der Erschließung kommen.

14. mineralische Rohstoffvorkommen

Beeinflussungen im Bereich der Erdoberfläche können für Untertage-Deponien und Endlager, für petrothermale Geothermie und für den Abbau fester Rohstoffe / Fluidbergbau vorhanden sein.

15. Kohlenflöze

Bei Gasspeicherung, CCS und Soleverpressung sind Auswirkungen auf die Erdoberfläche nicht auszuschließen.

16. Salzstöcke und stratiforme Salzlagerstätten

Zu Beeinflussungen kann es im Bereich von Untertage-Deponien und Endlagern kommen.

In Abschnitt 4.4.8.6 wird erläutert, nach welchen Kriterien Beeinflussungen an der Erdoberfläche behandelt werden müssen.

4.4.7 Welche Strukturen sind für welche Nutzung geeignet?

In Abschnitt 4.4.3 wurde dargestellt, welche Nutzungen in den jeweiligen geologischen Strukturen miteinander konkurrieren. Das bedeutet auch, dass alle konkurrierenden Nutzungen für eine Struktur dort auch grundsätzlich möglich sind.

Die tatsächliche Eignung für eine bestimmte Nutzung ist in hohem Maße abhängig von einer Reihe von lokalen Parametern, bspw.:

- petrophysikalischen Parametern (Permeabilität, Porosität, Scherfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, etc.) der nutzbaren Strukturen als auch der Barrieren
- geochemischen Parametern (Porenwasserzusammensetzung, mineralogische Zusammensetzung, Milieuparameter)
- geothermische Bedingungen (Temperatur)
- Parametern des Spannungsfeldes und natürlicher Seismizität
- Strukturgeologisches Umfeld
- Radiologischen Parametern
- u.v.a.m.

Zusätzlich besteht eine sehr starke Abhängigkeit von der Intensität der Nutzung (Massenströme, Volumina, Temperaturen, chemische Zusammensetzungen, etc.).

Alle diese Parameter müssen im Rahmen von Detailuntersuchungen erkundet werden und bilden die Grundlage für die Einschätzung der nutzbaren Struktur auf der Grundlage von unterschiedlichsten Modellen und Simulationen.

Hier ist anzumerken, dass die notwendigen Daten für die meisten Nutzungen identisch sind. Für den tiefen Untergrund sind die wesentlichen Untersuchungsmethoden:

- Geophysikalische Untersuchungen, insbesondere Reflexionsseismik und
- Erkundungsbohrungen mit geophysikalischen Messungen und Kerngewinnung

Nur für wenige Gebiete in Deutschland liegen die benötigten Parameter in einer solchen Dichte vor, dass unterschiedliche Nutzungen fachlich fundiert bewertet werden können. Dabei handelt es sich um diejenigen Gebiete, die in der Vergangenheit bereits genutzt wurden bzw. für eine Nutzung vorgesehen waren. Zum überwiegenden Teil handelt es sich um die Gebiete, die für eine Erdöl-/Erdgasförderung untersucht wurden. In geringerem Maße auch um Gebiete die hinsichtlich hydrothermalen Geothermie erkundet wurden. Damit liegt eine für eine fundierte Bewertung von Nutzungen ausreichende Datengrundlage vor allem für Teile der großen Sedimentbecken von Deutschland vor:

- Norddeutsches Becken
- Bayerisches Molassebecken
- Oberrheintalgraben und
- Thüringer Becken

Dabei ist zu beachten, dass diese Daten zum überwiegenden Teil im Rahmen privatwirtschaftlich finanzierter Projekte gewonnen worden sind. Sie sind somit im Eigentum von Unternehmen. Nur die Rahmendaten, die sogenannten Nachweisdaten, sind in der Regel öffentlich zugänglich. Die Nachweisdaten werden im Rahmen der am KW-Verbund beteiligten Bundesländer zentral beim LBEG in Hannover gesammelt und dort zur Verfügung gestellt. Die dahinterliegenden Fachdaten können nur mit Erlaubnis des jeweiligen Eigentümers eingesehen bzw. kopiert und genutzt werden.

Einen Sonderfall stellen Geothermieprojekte dar, da hier ein Einsehen der Fachdaten auch ohne die Erlaubnis des jeweiligen Eigentümers erfolgen kann. Für die Nutzung der Daten ist aber weiterhin das Einverständnis des Eigentümers notwendig.

Im Zusammenhang mit der unterirdischen Raumplanung ist zu klären, inwiefern die in Privatbesitz befindlichen Daten aus der Erkundung des Untergrundes genutzt werden können. Ggfs. ist zu prüfen, inwiefern die existierenden gesetzlichen Grundlagen in Deutschland ausreichend sind. Dies kann ggf. im Rahmen des TV2 erfolgen.

Grundsätzlich sind aus der Sicht der Bearbeiter die folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen:

- Grundsätzlich sind alle konkurrierenden Nutzungen innerhalb einer Struktur möglich.
- Die Einschätzung der Eignung für eine bestimmte Nutzung muss auf detaillierten Untersuchungen beruhen.
- Eine Festlegung von Prioritäten aus rein geologischer Sicht ist nicht sinnvoll.
- Für jede Nutzung ist ein spezifischer dreidimensionaler Nutzungsraum zu definieren. Dieser ist so festzulegen, dass die Auswirkungen am Rand des Nutzungsraumes akzeptabel sind (siehe Abschnitt 4.4.1)

4.4.8 Vorschlag zur Festlegung von Kriterien

4.4.8.1 Allgemeines

Im vorhergehenden Abschnitt wurde dargestellt, dass es aus geologischer Sicht nicht sinnvoll ist, eine Priorität von Nutzungen festzulegen. Um Nutzungskonkurrenzen sowohl in der gleichen Struktur als auch in verschiedenen Stockwerken zu behandeln, wurde das Konzept des Nutzungsraumes eingeführt. Außerhalb des Nutzungsraumes sind per Definition alle Auswirkungen akzeptabel. **Damit kann der unterirdische Raum in Nutzungsräume ohne Zwischenräume aufgeteilt werden.** Nachfolgend werden erste Vorschläge unterbreitet, auf welche Art und Weise dies geregelt werden kann.

Ausgangspunkt dafür sind die in Abschnitt Kapitel 4.2 dargestellten Arten der gegenseitigen Beeinflussung:

- Geochemische
- Geomechanische
- Geohydraulische
- Geothermische

Somit müssen Vorschläge zur Festlegung von Parametern für die einzelnen Arten der Beeinflussung erarbeitet werden. Dazu ist jeweils auch die Angabe einer Wahrscheinlichkeit notwendig, mit der diese Parameter einzuhalten sind (siehe 4.4.1).

Zudem ist dabei zwischen Kriterien für die gegenseitige Beeinflussung im unterirdischen Raum und für die Beeinflussung an der Erdoberfläche zu unterscheiden.

Die Festlegung der Größenordnung der Parameter ist dabei in gewissen Grenzen willkürlich, da sich ein exakter Wert in den meisten Fällen nicht aus Erfahrungswerten ableiten lässt. Die im Weiteren dargestellten Vorschläge beruhen auf den Erfahrungen bei der

Bearbeitung einer Vielzahl von Projekten im tiefen Untergrund. Es wird empfohlen, für diese Parameter einen Konsens auf der Grundlage einer breit angelegten Diskussion mit den Fachbehörden (SGD, Bergämter, Wasserbehörden, Umweltämter etc.) anzustreben.

Sämtliche nachfolgende Betrachtungen beziehen sich jeweils auf die gesamte vorgesehene Nutzungsdauer.

4.4.8.2 Geochemische Beeinflussungen

Wie in Kapitel 4.2.2 dargestellt, werden unter geochemischen Beeinflussungen Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung in Gesteinen und Fluiden verstanden.

Bezüglich von Fluiden resultiert der Vorschlag, dass die Veränderung der relativen Zusammensetzung und der relativen Konzentrationen der gelösten Komponenten ein festzulegendes Maß X_{chem_F} nicht überschreiten darf. Gegebenenfalls kann ein Stoffkatalog erstellt werden, wie er beispielsweise im Bereich der chemischen und hydraulischen Stimulation bereits im Einsatz ist.

Wird als Bezugspunkt die Ausgangszusammensetzung verwendet, so kann die akzeptable Veränderung anteilig angegeben werden. Wenn c_0 der Gehalt einer Komponente im Ausgangszustand und Δc die maximale Änderung des Gehaltes am Rande des Nutzungsräumens infolge der Nutzung ist, so muss gelten:

$$\Delta c/c_0 < X_{\text{chem}_F}$$

Analog dazu darf sich die Zusammensetzung der Gesteine nur bis zu einem Maß X_{chem_G} ändern.

Im Rahmen von Unsicherheitsanalysen bzw. von Risikobetrachtungen muss nachgewiesen werden, dass die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der angegebenen Maße kleiner ist als die maximal akzeptablen Wahrscheinlichkeiten W_{chem_F} bzw. W_{chem_G} .

Die Festlegung für die Erdoberfläche kann nicht pauschal erfolgen. Sie muss jeweils die spezifische Nutzung und die damit verbundenen spezifischen Risiken berücksichtigen.

4.4.8.3 Geomechanische Beeinflussungen

Wie in Kapitel 4.2.3 dargestellt, werden unter geomechanischer Beeinflussung Veränderungen in der räumliche Lageveränderungen von Gesteinen verstanden.

Eine zentrale Rolle spielen dabei die Aufrechterhaltung der Integrität von Barrieren, die Vermeidung von Hebungen und Senkungen an der Tagesoberfläche und die Verhinderung von seismischen Ereignissen ab einer gewissen Stärke.

So ist zu fordern, dass der Nachweis erbracht werden muss, dass die Integrität von Barrieren sichergestellt wird. Die Art der Beanspruchung von Barrieren ist in hohem Maße abhängig von der Art der Nutzung.

Bei der Förderung, der Speicherung oder Ablagerung von Fluiden ist bspw. der Druck so zu limitieren, dass stets eine ausreichende Sicherheit besteht, dass der Frackdruck nicht überschritten wird. Bei der Schaffung von unterirdischen Hohlräumen müssen entsprechende Stabilitäten nachgewiesen werden.

Hebungen und Senkungen an der Tagesoberfläche (Geländeoberkante) müssen in Abhängigkeit der oberirdischen Nutzung bewertet werden. Ein allgemeines Maß ist nur schwer festzulegen.

Bzgl. der Seismizität wird vorgeschlagen, dass die durch die Maßnahme ausgelösten Ereignisse eine Maximalstärke von X_{geomech_S} nicht überschreiten dürfen. So ist mittlerweile bekannt, dass bspw. durch die geothermische Nutzung des tiefen Untergrundes mikro-seismische Ereignisse ausgelöst werden. Mittlerweile erfolgt bei jedem Tiefengeothermieprojekt ein entsprechendes seismisches Monitoring, das es den Betreibern ermöglicht entsprechend zu reagieren. In der Regel sind die registrierten Ereignisse völlig unbedenklich.

Der Wert für X_{geomech_S} ist durch entsprechende Experten festzulegen. Gleiches gilt für die zugehörige Wahrscheinlichkeit W_{geomech_S} , mit der dieser Wert überschritten werden darf.

Insgesamt muss im Rahmen von Standsicherheitsgutachten für eine Nutzung sichergestellt werden, dass alle relevanten geomechanischen Kriterien eingehalten werden. Solche Gutachten könnten beispielsweise im Rahmen von Bewilligungen von den zuständigen Landesbehörden abgefordert werden, wenn die zuständigen Landesbehörden zu dem Schluss kommen, dass eine Gefährdung vorliegen könnte.

4.4.8.4 Geohydraulische Beeinflussungen

Wie in Kapitel 4.2.4 dargestellt, werden unter geohydraulischen Beeinflussungen alle Veränderungen im Druckregime der Fluide innerhalb einer Struktur oder einer Lagerstätte gesehen.

Für den tiefen Untergrund wird vorgeschlagen, eine maximal akzeptable Druckänderung festzulegen. Diese sollte sich speziell an den Nutzungen orientieren, für die der Druck eine zentrale Rolle spielt. Dabei handelt es sich um die Speicherung in salinen Aquiferen, die Förderung von Erdöl und Erdgas und auch die tiefe Geothermie. Besondere Bedeutung hat dieser Aspekt folglich auch bei der gegenseitigen Beeinflussung von Nutzungen in unterschiedlichen Feldern einer Struktur.

Es wird vorgeschlagen, eine für den Rand des Nutzungsraumes akzeptable maximale Druckänderung X_{geohydr} festzuschreiben. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass einerseits eine zu starke Beschränkung dazu führt, dass große Fluidmengen ungenutzt bleiben würden. Andererseits führt eine Druckänderung stets zu wirtschaftlichen Konsequenzen für ein konkretes Projekt.

Für die oberflächennahe Nutzung (flache Geothermie und Grundwasser) ist dies differenzierter zu betrachten. Hier ist in der Regel die Datenlage deutlich besser als im tiefen Untergrund. Auf dieser Grundlage wird mit Hilfe von Bewirtschaftungsmodellen festgelegt, welche Nutzungen unter Berücksichtigung gegenseitige Beeinflussung möglich sind. Hier ist die Druckänderung gleichbedeutend mit der Veränderung der Lage des Wasserspiegels. Die Festlegung entsprechender Beschränkungen für Projekte des tiefen Untergrundes ist gängige Praxis.

4.4.8.5 Geothermische Beeinflussungen

Wie in Kapitel 4.2.5 dargestellt, werden als geothermische Beeinflussungen die durch Nutzungen induzierten Änderungen des lokalen oder regionalen Temperaturfeldes betrachtet.

Für den tiefen Untergrund wird vorgeschlagen, eine maximal akzeptable Temperaturänderung festzulegen. Diese sollte sich speziell an den Nutzungen orientieren, für die die Temperatur eine zentrale Rolle spielt. Dabei handelt es sich um die tiefe Geothermie. Besondere Bedeutung hat dieser Aspekt folglich auch bei der gegenseitigen Beeinflussung von Geothermieprojekten.

Es wird vorgeschlagen, eine für den Rand des Nutzungsraumes akzeptable maximale Temperaturänderung X_{geotherm} festzuschreiben. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass einerseits eine zu starke Beschränkung dazu führt, dass große Wärmemengen ungenutzt bleiben würden. Andererseits führt eine Temperaturverringerung stets zu wirtschaftlichen Konsequenzen für ein konkretes Projekt.

Für die oberflächennahe Geothermie und die Grundwassernutzung ist dies differenzierter zu betrachten. Hier ist in der Regel die Datenlage deutlich besser als im tiefen Untergrund. Auf dieser Grundlage wird mit Hilfe von Bewirtschaftungsmodellen festgelegt, welche Nutzungen unter Berücksichtigung gegenseitiger Beeinflussung möglich sind.

4.4.8.6 Beeinflussung von Nutzungen an der Erdoberfläche

Reicht der Nutzungsraum für eine bestimmte Nutzung bis an die Erdoberfläche (einschließlich der Schutzgüter in Oberflächennähe, s. o.), so müssen für die mögliche Beeinflussung der o. g. Schutzgüter die in Abschnitt 4.2 definierten Arten der Beeinflussung betrachtet werden:

- geochemische,
- geomechanische,
- geohydraulische und
- geothermische Beeinflussungen.

Im Gegensatz zur unterirdischen Konkurrenz von Nutzungen ist es aus der Sicht der Autoren allerdings nicht möglich, pauschalisierte Festlegungen hinsichtlich der unterschiedlichen Arten der Beeinflussung zu treffen.

Nachfolgend soll eine Einschätzung der möglichen Beeinflussung bezogen auf die o. g. Schutzgüter gegeben werden. Dabei muss wiederum zwischen bestimmungsgemäßem und nicht bestimmungsgemäßem Betrieb unterschieden werden. Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich zunächst auf den bestimmungsgemäßen Betrieb.

4.4.8.7 Bestimmungsgemäßer Betrieb

Die Quantifizierung sämtlicher Auswirkungen erfolgt, wie im Einzelfall dargestellt, nach dem Stand der Technik auf der Grundlage entsprechender Modellierungen. Derartig detaillierte Untersuchungen sind nur dann nötig, wenn anhand von vereinfachten Betrachtungen oder Einschätzungen von Sachverständigen Auswirkungen nicht auszuschließen bzw. wahrscheinlich sind. Für eine Reihe von Situationen sind vereinfachte Betrachtungen und Abschätzungen ausreichend.

Geochemische Beeinflussungen

Um Auswirkungen auf die o. g. Schutzgüter einschätzen zu können, muss geprüft werden, ob im bestimmungsgemäßen Betrieb die für sämtliche Substanzen geltenden Grenzwerte (für die Medien Wasser, Boden und Luft) eingehalten werden. Dies setzt eine Prognose der geochemischen Auswirkungen im bestimmungsgemäßen Betrieb voraus. Diese Aussagen können nach dem Stand der Technik mit Stofftransportmodellierungen getroffen werden. Werden die Grenzwerte eingehalten, so kann davon ausgegangen werden, dass die Beeinflussung tolerabel ist. Bei den geochemischen Beeinflussungen sind alle Schutzgüter von Bedeutung.

Geomechanische Auswirkungen

Um Auswirkungen auf die o. g. Schutzgüter einschätzen zu können, muss geprüft werden, ob im bestimmungsgemäßen Betrieb geomechanische Auswirkungen zu erwarten sind. Dabei handelt es sich um Hebungen oder Senkungen bzw. auch um tolerable seismische Ereignisse. Dies setzt eine Prognose der geomechanischen Auswirkungen im bestimmungsgemäßen Betrieb voraus. Diese Aussagen können nach dem Stand der Technik mit geomechanischen Gutachten auf der Grundlage von Experteneinschätzungen oder geomechanischen Modellierungen getroffen werden. Kann nachgewiesen werden, dass die geomechanischen Auswirkungen für sämtliche Schutzgüter an der Erdoberfläche tolerabel sind, so besteht kein Nutzungskonflikt. Bei den geomechanischen Beeinflussungen sind vor allem die Schutzgüter Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt und Kultur- und sonstige Sachgüter von Bedeutung.

Geohydraulische Beeinflussungen

Um Auswirkungen auf die o. g. Schutzgüter einschätzen zu können, muss geprüft werden, welche Druck- bzw. Potenzialänderungen es im bestimmungsgemäßen Betrieb im oberflächennahen Grundwasser gibt. Dadurch kann es zu Beeinflussungen von Wasserkörpern und ggf. auch von Bauwerken kommen. Dies setzt eine Prognose der geohydraulischen Auswirkungen im bestimmungsgemäßen Betrieb voraus. Diese Aussagen können nach dem Stand der Technik mit Reservoir-Modellierungen bzw. geohydraulischen Modellierungen getroffen werden. Ob die geohydraulischen Auswirkungen tolerabel sind, obliegt dabei einer Einzelfallentscheidung. Die Prognose kann dabei stufenweise erfolgen. Erst wenn eine hydraulische Beeinflussung der oberflächennahen Bereiche nicht sicher ausgeschlossen werden kann, müssen entsprechende detaillierte Reservoirmodelle entwickelt werden.

Geothermische Beeinflussungen

Um Auswirkungen auf die o. g. Schutzgüter einschätzen zu können, muss geprüft werden, ob im bestimmungsgemäßen Betrieb Temperaturänderungen speziell für die Medien Wasser und Boden zu erwarten sind. Dies setzt eine Prognose der geothermischen Auswirkungen im bestimmungsgemäßen Betrieb voraus. Diese Aussagen können nach dem Stand der Technik mit geothermischen Modellierungen getroffen werden. Analog zu den geohydraulischen Beeinflussungen können Abschätzungen in einer abgestuften Vorgehensweise ermittelt werden. Erst wenn eine nicht tolerable Beeinflussung nicht sicher ausgeschlossen werden kann, ist eine detaillierte Modellierung notwendig. Diese wird auch heute bereits häufig von den zuständigen Wasserbehörden gefordert. Auch hier

obliegt es einer Einzelfallentscheidung, ob die Beeinflussung tolerabel ist. Bei den geothermischen Beeinflussungen sind vor allem die Schutzgüter Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt und Kultur- und sonstige Sachgüter von Bedeutung.

4.4.8.8 Nicht bestimmungsgemäßer Betrieb

Für den nicht bestimmungsgemäßen Betrieb muss auf der Grundlage von Risikoanalysen quantifiziert werden, wie hoch die Risiken sind. Im Gegensatz zur Nutzungskonkurrenz im unterirdischen Raum ist hier nicht nur von einer Wahrscheinlichkeit von nicht tolerablen Auswirkungen außerhalb des Nutzungsraumes sondern vom Risikobegriff im eigentlichen Sinne auszugehen. Danach ist das Risiko als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und der jeweiligen Konsequenz zu verstehen. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Risikoanalyse muss dann abgewogen werden, ob die Risiken tolerabel sind oder nicht. Pauschalaussagen hierzu sind kaum möglich.

Da im Bereich von Städten die Bevölkerungsdichte und die Dichte an Bauwerken größer ist als im un bebauten ländlichen Raum, sind die Risiken bei gleichen geologischen Bedingungen i. d. R. auch deutlich höher (Anzahl der Betroffenen und der Gebäude bei gleicher betroffener Fläche). Dies führt letztlich dazu, dass bestimmte Nutzungen (bspw. CCS) unter besiedelten Gebieten sehr unwahrscheinlich sind oder generell ausgeschlossen werden müssen.

5 Geologische Daten

5.1 Einleitung

In den vorangegangenen Abschnitten wurden zunächst geologische Strukturen sowie mögliche Nutzungen und Nutzungskonkurrenzen thematisiert. Dies diente dem Zweck, einen Grundwissensstand zur Thematik zu schaffen.

Um unterirdische Räume ausweisen zu können, müssen entsprechende Informationen vorhanden sein, die (1.) eine Abschätzung der Nutzungsmöglichkeiten erlauben und (2.) als fundierte Abwägungsgrundlage für Nutzungskonkurrenzen entsprechend belastbar sind. Für eine Abwägung und Ausweisung unterschiedlicher Gebietskategorien (z. B. Vorrang- und Vorbehaltsgebiete sowie Eignungsgebiete) sind möglichst genaue Modelle des Untergrundes erforderlich, welche auf der Basis der verfügbaren Daten erstellt wurden. Es können bspw. Bohrungs- und Seismikdaten in geologische Modelle überführt werden. Diese erlauben dann genauere Aussagen zu Nutzungsmöglichkeiten und Risiken. Dahingehend müssen eine Vielzahl verschiedener Arten von Daten sowie unterschiedliche Datenquellen betrachtet werden. Weiterhin ist zu klären, wie die Daten zugänglich sind. Dies ist Gegenstand dieses Forschungsberichts.

Es soll die Verfügbarkeit der für die unterirdische Raumplanung benötigten Daten anhand folgender Punkte aufgezeigt werden:

- Bei welchen Behörden liegen die einzelnen für die unterirdische Raumplanung relevanten geologischen Daten vor?
- In welchem Format und in welchem Maßstab liegen diese Daten vor?
- Sind die betreffenden Daten miteinander kompatibel? Wenn nicht, welche Möglichkeiten gibt es für Raumplaner damit umzugehen?

Anhand der Untersuchung sollen Defizite in der Datenlage bzw. der Zugänglichkeit anhand von drei ausgewählten Fallbeispielen wie folgt aufgezeigt werden:

- Gibt es Daten die für die öffentliche Verwaltung nicht zugänglich, aber für die unterirdische Raumplanung relevant sind? Dabei sind die verschiedenen Ebenen der öffentlichen Verwaltung (Bundes- bis zur Kommunalebene) zu berücksichtigen.
- Wenn ja, welche Vorschriften verhindern den Zugang und welche Voraussetzungen/ Instrumente müssen geschaffen werden, um den Zugang zu ermöglichen?

5.2 Vorgehensweise

5.2.1 Schritt 1: Recherche und Aufbereitung zur Datenlage untergrundbezogener Geodaten

Zunächst wurden Gesetze untersucht, welche die Datensammlung und Datenfreigabe von Geodaten regeln. Die Recherche zur Datenlage selbst wird anhand drei ausgewählter Bundesländer, welche als Fallbeispiele dienen, mit Internetrecherchen durchgeführt. Hier werden die Internetpräsenzen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Geodaten zur Untergrundsituation überprüft.

Daten, die Aufschluss über den Untergrund geben sind u. a. Kartenwerke (geologische Karten, geologische Spezialkarten) sowie spezielle Fachinformationssysteme. Für die unterirdische Raumplanung sind Karten mit kleineren Maßstäben relevant.

Im nächsten Schritt sollen dann Experteninterviews die Rechercheergebnisse ergänzen und vor allem Aufschluss über die Datenlage spezieller Untersuchungen liefern.

5.2.2 Schritt 2: Experteninterviews

Im zweiten Teil der Untersuchung geht es darum herauszufinden, wie sich die Geodatenlage hinsichtlich Verfügbarkeit und Zugänglichkeit in der Praxis am Beispiel von drei ausgewählten Bundesländern verhält. Dazu werden qualitative Expertenbefragungen durchgeführt. In der strukturierten qualitativen Befragung werden die Experten gebeten, ausgehend von Impulsfragen, Beispiele und Zusammenhänge zur Geodatenlage im jeweiligen Bundesland bzw. auf Bundesebene näher zu erläutern.

Anhand des gesammelten Wissens über den Sachverhalt zur Geodatenlage in den ausgewählten Bundesländern bzw. mit Vertretern geowissenschaftlicher Institutionen lässt sich mittels der Experteninterviews abbilden, wie und ob die Daten für die unterirdische Raumplanung zur Verfügung stehen.

Die Auswahl der Fallbeispiele wurde im Teilvorhaben 1 mit der Projektleitung beim UBA abgestimmt. Von Interesse ist es, drei Bundesländer mit unterschiedlichen geologischen Gegebenheiten zu wählen. Besonders in Sachsen wurden zu DDR-Zeiten umfangreiche geologische Erkundungen durchgeführt, die einen erheblichen Datenfundus erhoffen lassen.

Weiterhin ist interessant zu erfahren, wie sich die aktuelle Situation der Datenlagerung verhält.

In den abgestimmten Bundesländern Bayern, Sachsen und Niedersachsen werden dann Gesprächstermine mit Experten durchgeführt.

Die Auswahl der Interviewpartner erfolgt gezielt, d. h., die Experten werden spezifisch nach ihrem Tätigkeitsfeld ausgewählt. Sie sollten aktiv als Entscheider bzw. Entscheidungsvorbereiter in Positionen der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) bzw. in Behörden und geowissenschaftlichen Institutionen den Bezug zur Praxis haben. Sie werden anhand ihres fachlichen Status ausgewählt. Diese sind Entscheidungsvorbereiter in höheren Positionen von Ämtern, Vereinen oder Firmen, die auf Landesebene Entscheidungen steuern. Sie sollten neben dem Praxisbezug auch einen umfassenden inhaltlichen Überblick und damit auch mögliche Hindernisse in ihrem Fachgebiet identifizieren können.

Der Interviewleitfaden Anlage 3.6) dient als Werkzeug zur Durchführung und Sicherung des Interviewablaufs. Weiterhin werden mit diesem Instrument strukturiert qualitative Daten gesammelt.

Der erste Teil des Leitfadens umfasst Fragen zur Datenhaltung und Datenstruktur. Hier geht es ausschließlich darum, wie die Datengewinnung bzw. -übermittlung organisiert ist und wie sich die Nutzungsrechte gestalten.

Im zweiten Teil der Interviews geht es um die Datencharakterisierung. Hier wird versucht herauszufinden, welche Daten gespeichert werden und welche Grundlagen der unterirdischen Raumplanung zur Verfügung stehen.

5.3 Geodaten

Gemäß § 3 Abs. 1 Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) sind Geodaten „alle Daten mit direktem oder indirektem Bezug zu einem bestimmten Standort oder geografischem Gebiet“.

Ferner können auch Metadaten von Bedeutung sein, „Metadaten sind Informationen, die Geodaten oder Geodatendienste beschreiben und es ermöglichen, Geodaten und Geodatendienste zu ermitteln, in Verzeichnisse aufzunehmen und zu nutzen“ (§ 3 Abs. 2 GeoZG).

In Belangen der unterirdischen Raumplanung sind vorrangig geologische Daten (siehe nachfolgende Abschnitte) von Bedeutung. Im Unterschied zur oberirdischen Raumplanung betrifft die unterirdische Raumplanung nicht nur eine Fläche, sondern ein Volumen. Es werden also nicht nur Oberflächendaten benötigt, sondern auch Tiefeninformationen. Beides zusammen kann dann beispielsweise in ein 3D-Modell integriert werden, welches als Basis für eine unterirdische Raumplanung dienen kann.

Je höher die Dichte und Qualität der geologischen Daten, desto genauer kann das Modell sein und desto genauere Aussagen können über Nutzungsmöglichkeiten und Nutzungskonkurrenzen getroffen werden. Vorrangig sind dies geologische Karten und geologische Spezialkarten, Bohrungsberichte und Schichtenverzeichnisse, geologische Schnitte und Risse, Ergebnisse reflektionsseismischer Untersuchungen, sowie weitere vorhandene 3D-Modelle und Berichte.

Im Folgenden werden die wichtigsten geologischen Daten kurz vorgestellt und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die unterirdische Raumplanung diskutiert.

5.3.1 Geologische Karten und geologische Spezialkarten

Geologische Karten geben üblicherweise Auskunft über das Ausstreichen einer geologischen Einheit an der Oberfläche. Als Ausstreichen bezeichnet man die Schnittfläche eines geologischen Körpers mit der Oberfläche. In den meisten Fällen ist in solchen Karten der Boden abgedeckt, das heißt die unmittelbar unter dem Boden anstehenden Gesteine werden dargestellt. Geologische Karten stellen die wichtigste Basis für die Interpretation der geologischen Verhältnisse an der Oberfläche und die Erstellung von Modellen des Untergrundes dar. Sie sind damit eine wichtige Grundlage für die Interpretation der Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes.

Geologische Karten werden prinzipiell durch das manuelle Auskartieren eines Gebietes erstellt. Zusätzlich werden alle weiteren vorhandenen geologischen Informationen einbezogen. Im Unterschied zu beispielsweise topografischen Karten, stellen geologische Karten auch immer ein Interpolations- und Interpretationsprodukt des jeweiligen Bearbeiters dar.

Dennoch lassen solche Karten nur indirekte Rückschlüsse über die geologischen Verhältnisse im Untergrund zu. Durch geologischen Sachverstand kann aber oft eine Interpolation der geologischen Verhältnisse im Untergrund erfolgen.

Geologische Spezialkarten umfassen eine Vielzahl von Kartentypen, die bestimmte geologische Aspekte herausgreifen und darstellen. Für die unterirdische Raumplanung sind insbesondere Karten von Bedeutung, welche die Verbreitung bestimmter geologischer Einheiten und Strukturen unabhängig von ihrem Ausstreichen an der Oberfläche abbilden. Dies können beispielsweise Lithofazieskarten oder Karten definierter Aquifere sein.

Diese Karten können in begrenztem Umfang auch Tiefeninformationen enthalten. Beispielsweise werden in den Lithofazieskarten des Quartärs in Sachsen auch ausgewählte Bohrungen mit dargestellt.

Darüber hinaus können auch Karten lithologischer Parameter, geochemischer Daten, Lagerstätten und Vorkommen, Altbergbau und Restlöcher und viele weitere Informationen in die unterirdische Raumplanung einbezogen werden.

Besondere Relevanz für die unterirdische Raumplanung besitzen Potenzialkarten. Diese stellen die räumliche Lage (Verbreitung und Tiefenlage) von geologischen Strukturen dar, die für eine bestimmte Nutzung geeignet sind. Zur Erstellung dieser Potenzialkarten ist in der Regel die Einbeziehung und die fachliche Interpretation aller verfügbaren Daten des Untergrundes notwendig. Potenzialkarten stellen gewissermaßen einen Sonderfall dreidimensionaler Modelle dar (s. u.).

5.3.2 Bohrungsberichte und Schichtenverzeichnisse

Bohrungen stellen die wichtigste Informationsquelle über die geologischen Verhältnisse in der Tiefe dar. Abhängig vom Zweck einer Bohrung kann die Tiefe wenige Meter (z. B. Baugrunduntersuchungen) oder mehrere Kilometer (z. B. Geothermiebohrungen) betragen. Normalerweise ist eine Vielzahl von oberflächennahen Bohrungen vorhanden, während Daten über tiefe Bohrungen eher vereinzelt vorliegen.

Bohrberichte enthalten dabei oft wichtige Informationen über die angetroffenen geologischen Einheiten und deren Teufenlage und Mächtigkeit. Darüber hinaus erlauben Bohrberichte gegebenenfalls auch eine Interpretation der gesteinsphysikalischen Parameter (z. B. Poro/Perm-Daten aus Laboranalysen in KW-Erkundungsbohrungen). Die Schichtenverzeichnisse sind allerdings das Ergebnis der Interpretation des Aufnehmenden und sollten daher stets kritisch hinterfragt werden.

5.3.3 Geologische Schnitte

Geologische Schnitte und Risse sind vertikale 2D-Informationen über den Untergrund entlang einer definierten Linie. Sie liefern sehr detaillierte Informationen über den Untergrund und können damit eine sehr wichtige Informationsquelle für den Untergrund sein. Sie werden üblicherweise durch Interpolation zwischen zwei oder mehr Bohrungen unter Einbeziehung der geologischen Karten erstellt. Das Ergebnis dieser Interpolation ist sehr stark vom jeweiligen Sachverstand des Bearbeiters, seiner Interpretation und den zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen Informationen abhängig und sollte daher sehr kritisch auf Plausibilität überprüft werden.

Geologische Schnitte stellen daher eine sekundäre Informationsquelle dar. Ihre Tiefe ist von der Tiefe der zugrundeliegenden Bohrungen und dem Zweck, zu dem sie erstellt wurden, abhängig und kann stark variieren.

5.3.4 Ergebnisse reflektionsseismischer Untersuchungen

Reflektionsseismische Untersuchungen gehören zu den geophysikalischen Erkundungsmethoden und können sehr detaillierte Informationen über den Untergrund liefern. Prinzipiell wird in der Reflektionsseismik das Ausbreitungsverhalten künstlich erzeugter seismischer Wellen aufgenommen. Dabei können Schichtgrenzen sichtbar gemacht werden,

falls sich die benachbarten Schichten hinsichtlich ihrer Impedanz (Dichte, Schallgeschwindigkeit) unterscheiden. Die Erkundungstiefe kann mehrere Kilometer betragen.

Es werden zwei grundsätzliche Typen von seismischen Erkundungen unterschieden: Die 2D-Seismik, die ähnlich einem vertikalen geologischen Schnitt, entlang einer definierten Strecke aufgenommen wird und die 3D-Seismik, die üblicherweise ein größeres quaderförmiges Volumen abdeckt. Die 3D-Seismik stellt den derzeitigen Stand der Technik für die meisten Projekte des tiefen Untergrundes dar.

Da in der Reflektionsseismik Laufzeiten seismischer Wellen gemessen werden, ist die Umwandlung der Zeitinformation in eine Tiefeninformation eine wichtige Problemstellung. Diese wird durch ein Geschwindigkeitsmodell gelöst, welches beispielsweise durch Bohrungen innerhalb des Untersuchungsgebietes oder durch Erfahrungswerte erstellt werden kann. Je nachdem, welche Informationen für die Erstellung eines Geschwindigkeitsmodells zur Verfügung stehen, sind Tiefeninformationen in Seismiken daher teilweise mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Für eine Verwendung müssen die seismischen Messungen interpretiert und in ein entsprechendes Modell überführt werden. Dies kann, je nach Datendichte und geologischen Verhältnissen, eine sehr komplexe und zeitaufwändige Aufgabe sein. Darüber hinaus ist das Ergebnis dieser Interpretation wiederum in erheblichem Maß von der Erfahrung des Interpretierenden abhängig.

5.3.5 Dreidimensionale-Modelle

Dreidimensionale-Modelle des Untergrundes gewinnen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. So wird beispielsweise in Sachsen seit 2001 im Zuge der Hydrogeologischen Spezialkartierung ein 3D-Modell im Maßstab 1 : 50.000 erstellt, welches die wichtigsten geologischen und hydrogeologischen Einheiten darstellt. Ein vergleichbares, wenn auch weniger hoch aufgelöstes Modell, ist auch in Brandenburg geplant. Ein weiteres sehr großräumiges Modell ist beispielsweise das Modell des geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland, welches vom LBEG erstellt wird. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl von kleinräumigen 3D-Modellen, die im Zuge von Bergbauplanungen, Abbauplanungen oder Forschungsprojekten aller Art erstellt wurden. Diese befinden sich jedoch zumeist im Eigentum des Projektentwicklers und sind nicht frei zugänglich, weder für Privatpersonen noch für Behörden.

Die Modelle, von den SGD oder von den Bundesinstitutionen erstellt werden, können als Input für die unterirdische Raumordnung dienen.

5.4 Gesetzliche Grundlagen zur Übermittlung von Daten

Die Übergabe von Daten an die zuständigen Ämter ist gesetzlich geregelt. Bergbehörden beziehen sich in der Regel auf das Bundesberggesetz und Geologische Dienste berufen sich auf das Lagerstättengesetz. Diese Gesetze bestimmen die Übergabe von Daten.

Daneben gibt es noch Rahmenbestimmungen wie die INSPIRE Richtlinie (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) und daraus abgeleitet das GeoZG sowie die entsprechenden Gesetze der Bundesländer. Das Umweltinformationsgesetz bezieht sich auf die Bereitstellung von Umweltinformationen und das Informationsfreiheitsgesetz auf den Zugang amtlicher Daten.

5.4.1 Bundesberggesetz

Nach Bundesberggesetz unterliegt der Bergbau der Bergaufsicht (§ 66 Abs. 1 BBergG). Diese endet gemäß § 66 Abs. 1 BBergG nach der Durchführung des Abschlussbetriebsplans.

Auskunftspflicht besteht nach § 70 Abs. 1 BbergG: *„Wer zur Aufsuchung oder Gewinnung von bergfreien oder grundeigenen Bodenschätzen berechtigt ist, ferner die verantwortlichen Personen, die in § 64 Abs. 1 BBergG bezeichneten und die dem arbeitsmedizinischen oder sicherheitstechnischen Dienst angehörenden sowie die unter § 66 Satz 1 Nr. 10 BBergG fallenden Personen (Auskunftspflichtige) haben der zuständigen Behörde die zur Durchführung der Bergaufsicht erforderlichen Auskünfte zu erteilen und Unterlagen vorzulegen“.*

Entsprechend dem Gesetz sind es die zuständigen Bergämter der Länder, welche die Informationen zum Bergbau verwahren. Diese beziehen sich im Wesentlichen auf die Durchführung des Bergbaubetriebs bspw. in Form von Grubenrissen, technischen Anlagen oder Arbeitsschutz.

Diese Informationen sind vor allem relevant, wenn es um unterirdische Ablagerungsmöglichkeiten geht. Teilweise reichen die Schächte bspw. im sächsischen Steinkohlerevier von Zwickau bis auf 1.000 m Tiefe. Die künstlich geschaffenen Hohlräume haben in jedem Fall Einfluss auf Nutzungskonkurrenzen.

Die Daten (z. B. Risswerke) werden bei den Bergämtern gehalten und können nach vorheriger Anfrage eingesehen werden. Dies gilt aber nur für Betriebe, welche bereits aus der Bergaufsicht entlassen wurden. Für aktive Betriebe können Informationen nur mit Vollmacht des Betreibers abgefragt und eingesehen werden.

Nach § 127 BBergG sind Bohrungen, die tiefer als 100 m abgeteuft werden, auch der Bergbehörde zu melden. Zusätzlich müssen alle Bohrungen tiefenunabhängig nach dem Lagerstättengesetz den Staatlich Geologischen Diensten gemeldet werden.

5.4.2 Lagerstättengesetz

Die Anzeige und Auskunftspflicht von Untersuchungsdaten des Untergrundes sind durch das Lagerstättengesetz (LagerStG) von 1934, zuletzt geändert durch Art. 22 G v.

10.11.2001, in Verbindung mit der Verordnung zur Ausführung des Gesetzes über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (LagerstGDV) von 1934, geregelt. Zweck des Gesetzes ist die Erforschung und Erhebung geologischer Daten zur Sicherung der Rohstoffversorgung. Entsprechend § 3 LagerStG müssen Bohrungen mindestens zwei Wochen vor Bohrbeginn den SGD gemeldet werden. Weiterhin besteht die Pflicht, nach Abschluss der Arbeiten alle Ergebnisse vorzulegen, dabei behalten sich die amtlichen Stellen vor, weitere Ergebnisunterlagen einzufordern, insofern diese als unvollständig erachtet werden („weitere erschöpfende Auskunft“) (§ 3 Abs. 1 LagerStG). Entsprechend § 5 LagerStG müssen Bohrunternehmer Gesteinsproben und sonstiges Beobachtungsmaterial vorlegen, welches nur mit vorheriger behördlicher Erlaubnis vernichtet werden darf.

Ist der zu erkundende Rohstoff Erdöl, so muss als Grundlage eine Karte mit dem räumlichen Umfang des Gebietes, den darin enthaltenen Bohrungen und den bereits geophysikalisch untersuchten Flächen vorgelegt werden (§ 6 LagerStG). Hinzu kommt, dass nach

LagerstGDV Landesbergbehörden unterrichtet werden müssen (Art. 5 LagerstGDV). Letztere geben der zuständigen geologischen Anstalt Kartenunterlagen im Maßstab 1 : 100.000 weiter.

Entsprechend dem LagerStG müssten die Unterlagen zu Bohrungen vollständig eingereicht werden und sollten dann den SGD vorliegen.

Insofern Daten von privat finanzierten Bohrungen eingereicht wurden, bestimmt der Besitzer der Daten über deren Freigabe und Weitergabe an Dritte. Dies bezieht sich sowohl auf Privatpersonen bzw. Firmen und staatliche Institutionen.

Weiterhin haben die geologischen Anstalten sich an die Geheimhaltungspflicht zu halten (Art. 7 LagerstGDV).

Das LagerStG wird vornehmlich durch die SGD der Länder umgesetzt bzw. in der Praxis mit der Übermittlung der Daten angewendet.

5.5 Gesetzliche Bestimmungen zum Datenzugang

5.5.1 INSPIRE Richtlinie und Geodatenzugangsgesetz

Mit der INSPIRE – Richtlinie der Europäischen Union sollen Geodaten aller Mitgliedsstaaten der Öffentlichkeit sowie Ämtern und Behörden zugänglich gemacht werden. Die am 14. März 2007 beschlossene Richtlinie soll Barrieren der Verfügbarkeit, Qualität, Organisation und Zugänglichkeit von Umweltdaten beseitigen. Weiterhin ermöglicht eine solche flächendeckende Geodateninfrastruktur grenzübergreifende Politik. Den Mitgliedsstaaten werden gemeinsame etappenweise Durchführungsvorschriften vorgegeben, um Geodaten optimal zu speichern, zu verwalten und zugänglich zu machen. Geistiges Eigentum bleibt von der Richtlinie unberührt. So sollen zunächst einheitliche Metadaten von bereits digitalisierten Daten erzeugt werden (European Commission o. J.).

In Bezug zur unterirdischen Raumplanung sind die Anhänge II und III der Richtlinie relevant. In Anhang II Nr. 4 wird explizit auf geologische Daten Bezug genommen. Weiterhin sind folgende Daten nach Anhang III relevant: 12. Gebiete mit naturbedingten Risiken, 20. Energiequellen sowie 21. Mineralische Bodenschätze.

Das deutsche Geodatenzugangsgesetz (GeoZG), welches am 14.02.2009 in Kraft getreten ist, setzt die INSPIRE-Richtlinie in nationales Recht um. Ziele des Gesetzes sind entsprechend § 1 GeoZG der Aufbau einer nationalen Geodateninfrastruktur. Es soll den „Zugang [schaffen] zu Geodaten, Geodatendiensten und Metadaten von geodatenhaltenden Stellen“ (§ 1 Nr. 1 GeoZG) sowie „die Nutzung dieser Daten und Dienste, insbesondere für Maßnahmen, die Auswirkungen auf die Umwelt haben können“ (§ 1 Nr. 2 GeoZG) ermöglichen.

Nach § 3 Abs. 2 GeoZG sind Geodatendienste wie folgt definiert: *„Geodatendienste sind vernetzbare Anwendungen, welche Geodaten und Metadaten in strukturierter Form zugänglich machen. Dies sind im Einzelnen:*

- 1. Suchdienste, die es ermöglichen, auf der Grundlage des Inhalts entsprechender Metadaten nach Geodaten und Geodatendiensten zu suchen und den Inhalt der Metadaten anzuzeigen,*

2. *Darstellungsdienste, die es zumindest ermöglichen, darstellbare Geodaten anzuzeigen, in ihnen zu navigieren, so zu vergrößern oder zu verkleinern, zu verschieben, Daten zu überlagern sowie Informationen aus Legenden und sonstige relevante Inhalte von Metadaten anzuzeigen,*
3. *Dienste, die das Herunterladen und, wenn durchführbar, den direkten Zugriff auf Kopien von Geodaten ermöglichen (Downloaddienste),*
4. *Transformationsdienste zur geodätischen Umwandlung von Geodaten.“*

Entsprechend § 3 GeoZG ist eine Geodateninfrastruktur wie folgt definiert: *„Eine Geodateninfrastruktur ist eine Infrastruktur bestehend aus Geodaten, Metadaten und Geodatendiensten, Netzdiensten und -technologien, Vereinbarungen über gemeinsame Nutzung, über Zugang und Verwendung sowie Koordinierungs- und Überwachungsmechanismen, -prozesse und -verfahren mit dem Ziel, Geodaten verschiedener Herkunft interoperabel verfügbar zu machen“.*

Das Gesetz betrifft gemäß § 2 des GeoZG den Gesamttraum der Bundesrepublik sowie den Bereich der ausschließlichen Wirtschaftszone. Es gilt für *„geodatenhaltende Stellen des Bundes und der bundesunmittelbaren juristischen Personen des öffentlichen Rechts“* (§ 2 Nr. 1 GeoZG).

In § 4 Abs. 1 Nr. 4 sind die betreffenden Geodathemen aufgelistet. Für die unterirdische Raumplanung sind u. a. relevant: Geologie (§ 4 Abs. 1 Nr. 4 m GeoZG), Boden (§ 4 Abs. 1 Nr. 4 p GeoZG), Gebiete mit Naturbedingten Risiken (§ 4 Abs. 1 Nr. 4 y GeoZG), Energiequellen (§ 4 Abs. 1 Nr. 4 z7 GeoZG), mineralische Bodenschätze (§ 4 Abs. 1 Nr. 4 z8 GeoZG).

Im Zuständigkeitsbereich der Bundesländer gelten die Ländergesetze bspw. in Sachsen das sächsische Geodateninfrastrukturgesetz.

Der Zugang zu Geodaten (siehe 5.3) wird über die §§ 11 ff. GeoZG geregelt. Entscheidend ist § 11 Nr. 1 GeoZG, da hier festgelegt wird, dass Geodaten im Allgemeinen zur Verfügung zu stellen sind, *„Geodaten und Geodatendienste, einschließlich zugehöriger Metadaten, sind vorbehaltlich der Vorschrift des § 12 Absatz 1 und 2 öffentlich zur Verfügung zu stellen“.*

Entsprechend der Vorschrift (§ 11 Nr. 2 GeoZG) können die Daten kommerziell und nicht kommerziell genutzt werden, müssen aber kostenlos zur Verfügung gestellt werden; *„Geodaten und Metadaten sind über Geodatendienste für die kommerzielle und nicht kommerzielle Nutzung geldleistungsfrei zur Verfügung zu stellen, soweit durch besondere Rechtsvorschrift nichts anderes bestimmt ist oder vertragliche oder gesetzliche Rechte Dritter dem nicht entgegenstehen. Geodatenhaltende Stellen des Bundes stellen einander ihre Geodaten und Geodatendienste, einschließlich zugehöriger Metadaten, geldleistungsfrei zur Verfügung, soweit deren Nutzung zur Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben erfolgt“.*

Die Freigabe der Daten wird hier eingeschränkt durch den Teilsatz: *„Soweit durch besondere Rechtsvorschrift nichts anderes bestimmt ist oder vertragliche oder gesetzliche Rechte Dritter dem nicht entgegenstehen“.*

Hier werden insbesondere die vertraglichen und gesetzlichen Rechte Dritter mit einbezogen, welche den öffentlichen Zugang einschränken können. Gesetzliche Rechte umfassen

unter anderem Eigentumsrechte. Weiterhin wird auf den behördeninternen Datenaustausch Bezug genommen: „Geodatenhaltende Stellen des Bundes stellen einander ihre Geodaten und Geodatendienste, einschließlich zugehöriger Metadaten, geldleistungsfrei zur Verfügung, soweit deren Nutzung zur Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben erfolgt.“ Demnach besteht die Möglichkeit des behördeninternen Austauschs von Geodaten nach § 4 Abs. 1 Nr. 4 GeoZG für öffentliche Aufgaben auch für die unterirdische Raumplanung. Dabei ist zu beachten, dass eine Weitergabe von Geodaten, deren Rechte nicht bei der geodatenhaltenden Stelle liegen, nicht möglich ist.

5.5.2 Umweltinformationsgesetz

Das erstmals 1994 beschlossene und 2004 gemäß EU-Richtlinie 2003/4/EG novellierte Gesetz, dient dem freien Zugang zu Umweltinformationen. Der Zweck des Umweltinformationsgesetzes (UIG) „ist es, den rechtlichen Rahmen für den freien Zugang zu Umweltinformationen bei informationspflichtigen Stellen sowie für die Verbreitung dieser Umweltinformationen zu schaffen“ (§ 1 Abs. 1 UIG). Hervorzuheben ist, dass das UIG nur für die Bundesebene gilt (§ 1 Abs. 2 UIG). Für die informationspflichtigen Stellen der Bundesländer wurden jeweils eigene Landes-Umweltinformationsgesetze erlassen. Diese verweisen entweder auf das UIG oder regeln eigenständig den gleichen Sachverhalt. Entsprechend § 2 Abs. 1 UIG sind informationspflichtige Stellen „die Regierung und andere Stellen der öffentlichen Verwaltung. Gremien, die diese Stellen beraten, gelten als Teil der Stelle, die deren Mitglieder beruft“. Gemäß § 2 Abs. 4 UIG verfügt eine informationspflichtige Stelle über „Umweltinformationen, wenn diese bei ihr vorhanden sind oder für sie bereitgehalten werden. Ein Bereithalten liegt vor, wenn eine natürliche oder juristische Person, die selbst nicht informationspflichtige Stelle ist, Umweltinformationen für eine informationspflichtige Stelle im Sinne des Absatzes 1 aufbewahrt, auf die diese Stelle einen Übermittlungsanspruch hat“.

Wiederum werden auch Interessen öffentlicher Belange (§ 8 UIG) und sonstiger Belange geschützt (§ 9 UIG) sowie die Rechte Dritter - „Soweit ... [Nr. 2] Rechte am geistigen Eigentum, insbesondere Urheberrechte, durch das Zugänglichmachen von Umweltinformationen verletzt würden oder [Nr. 3] durch das Bekanntgeben Betriebs- oder Geschäftsgeheimnisse zugänglich gemacht würden oder die Informationen dem Steuergeheimnis oder dem Statistikgeheimnis unterliegen, ist der Antrag abzulehnen, es sei denn, die Betroffenen haben zugestimmt oder das öffentliche Interesse an der Bekanntgabe überwiegt“. Weiterhin hat die „informationspflichtige Stelle [...] in der Regel von einer Betroffenheit im Sinne des Satzes 1 Nr. 3 auszugehen, soweit übermittelte Informationen als Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse gekennzeichnet sind“.

§ 9 UIG gibt vor, dass die Wahrung von Urheberrechten, Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen sowie Steuer- und Statistikgeheimnissen gewährleistet sein muss. Insofern öffentliche Interessen überwiegen, können Daten auch im Sinne dessen über die vorgenannten Paragraphen freigegeben werden bzw. wenn der Eigentümer zugestimmt hat. Insofern ist es nicht ohne weiteres möglich, über das UIG an Geodaten zu gelangen, da hier die Rechte der Dateninhaber gewahrt werden müssen. Plausibel wäre die Argumentation, dass ein öffentliches Interesse an einer unterirdischen Raumplanung bestünde. Dies müsste gegebenenfalls in den Grundsätzen der Raumordnung verankert werden.

5.5.3 Informationsfreiheitsgesetz

Das Informationsfreiheitsgesetz (IFG) regelt den Zugang zu amtlichen Informationen (§ 1 Abs. 1 IFG). Entsprechend ist in § 1 Abs. 2 IFG festgelegt: *„die Behörde kann Auskunft erteilen, Akteneinsicht gewähren oder Informationen in sonstiger Weise zur Verfügung stellen. Begehrt der Antragsteller eine bestimmte Art des Informationszugangs, so darf dieser nur aus wichtigem Grund auf andere Art gewährt werden. Als wichtiger Grund gilt insbesondere ein deutlich höherer Verwaltungsaufwand“*.

Amtliche Informationen werden verstanden als *„jede amtlichen Zwecken dienende Aufzeichnung, unabhängig von der Art ihrer Speicherung“* (§ 2 Nr. 1 IFG). Anders als im Anwendungsbereich des Umweltinformationsgesetzes (UIG) ist der Zugang damit nicht auf bestimmte Informationen, wie dort auf Umweltinformationen, begrenzt. Das Informationsfreiheitsgesetz käme also dann zur Anwendung, wenn Zugang zu Informationen begehrt wird, die nicht als Umweltinformationen einzustufen sind.

Dem Gesetz nach sind, insofern keine Belange nach §§ 3, 4, 5 und 6 IFG entgegenstehen, Informationen auf Antrag zur Verfügung zu stellen.

Nach § 6 IFG wird ausdrücklich das geistige Eigentum sowie Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse geschützt. Für einen generellen Zugang Dritter zu relevanten Daten, muss der Betroffene der Freigabe zustimmen. In diesem Zusammenhang gelten auch Behörden als Dritte, falls sie nicht durch andere gesetzliche Bestimmungen (s. o.) Zugang zu den Daten haben.

5.6 Organisationsstruktur in der Datenverwaltung

5.6.1 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) fungiert als zentrale geowissenschaftliche Beratungseinrichtung der Bundesregierung. Ihre Aufgaben bestehen neben der geowissenschaftlichen Beratungskompetenz in geo- und rohstoffwissenschaftlichen Fragen, auch als nationaler geologischer Dienst mit koordinierender Funktion im Inland sowie die Repräsentation im Ausland (BGR o. J.).

Mit der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) als Bestandteil der BGR wird die deutsche Wirtschaft seit 2008 zu Fragen der Rohstoffnutzung beraten (BGR o. J. 2).

Weiterhin werden durch die BGR geowissenschaftliche Daten zusammen mit den SGD erstellt. Es werden folgende Datentypen gehalten und verarbeitet:

Punktdaten, z. B. chemische Analysen von Proben oder geophysikalische Messungen an einzelnen Lokationen als auch Flächen- und Liniendaten, die bestimmte Sachverhalte wie beispielsweise geologische oder bodenkundliche Einheiten repräsentieren (BGR o. J. 3).

In der zentralen Datenbank können Nutzer eine Geodatenuche durchführen. Hier bietet der Geodatenkatalog GeoDak Flächendaten ab dem Maßstab 1 : 200.000 (BGR 2012). Dies sind Kartenwerke sowie Kartendienste, mithilfe welcher man unterschiedliche Karten produzieren kann.

5.6.2 Staatliche Geologische Dienste (SGD)

Die SGD in Deutschland sind geowissenschaftliche Fachoberbehörden der Länder bzw. des Bundes. Dabei sind die Aufgaben und Schwerpunkte in den jeweiligen Bundesländern

unterschiedlich. Auch die Bezeichnung der SGD ist von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich, wobei die Bezeichnung Landesamt am häufigsten genutzt wird. Ihre Hauptaufgabe besteht grundsätzlich darin, Fachinformationen über den Zustand und die Veränderungen der Bestandteile der obersten Erdkruste (Gesteine, Böden, Grundwasser) zu sammeln, neutral zu bewerten und anwendungsbezogen verfügbar zu machen (InfoGEO o. J.).

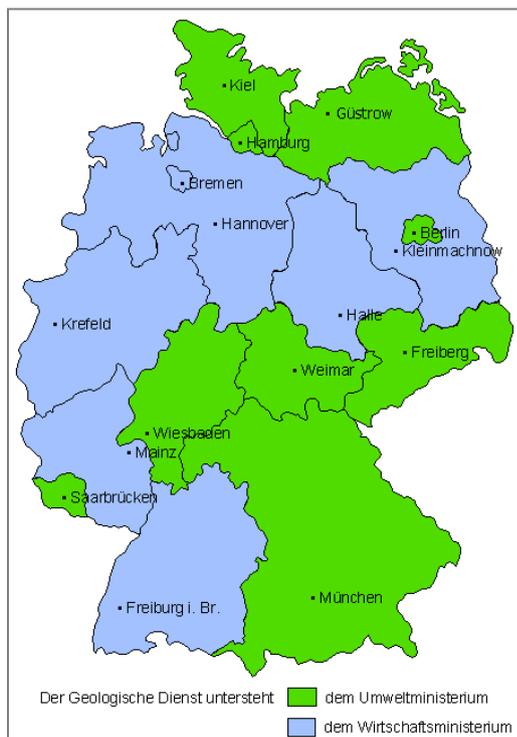
Wesentliche Aufgaben eines SGD sind:

- Geowissenschaftliche Landesaufnahme
- Landesbezogene geowissenschaftliche Forschungen und Untersuchungen
- Veröffentlichung von geowissenschaftlichen Karten, Daten, Berichten und Aufsätzen
- Anlegung und Führung von geowissenschaftlichen Informationssystemen
- Geowissenschaftliche Beratung, Gutachten und Stellungnahmen z. B. als Träger öffentlicher Belange

Abb. 15 verdeutlicht den Sitz der jeweiligen geologischen Dienste der Länder.

Die o. g. Aufgaben werden von den jeweiligen Landesbehörden wahrgenommen. Sie führen die Aufgaben nach dem LagerStG aus. Im Unterschied zu den Landesämtern, obliegt den Bergämtern die Aufsicht über alle mit dem Bergbaubetrieb zusammenhängenden Tätigkeiten. In einigen Bundesländern (z. B. Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg) sind die Bergämter in die SGD integriert.

Abb. 15: Sitz der geologischen Dienste und Zuordnung zu den einzelnen Bundesländern



5.6.3 Bergbehörden

Die Bergbehörden haben die Aufsicht über das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten der im Bundesberggesetz aufgeführten bergfreien und grundeigenen Bodenschätze. Im Rahmen der vorgenannten Arbeiten werden zudem Betriebsanlagen und sämtliche Maßnahmen, die im unmittelbaren betrieblichen Zusammenhang stehen, überwacht. Weiterhin werden auch die Errichtung und das Betreiben von Untergrundspeichern sowie Besucherbergwerken mit überwacht. Weiterhin werden auch Bohrungen überwacht, die tiefer als 100 m sind.

Bergwerksbetreiber sind verpflichtet, vor Beginn des Betriebs und in bestimmten Zeitabständen sowie zur Beendigung des Betriebs, für alle beabsichtigten Maßnahmen Betriebspläne aufzustellen und zur Zulassung vorzulegen.

Die Organisation und Ministerienzuständigkeit ist bundeslandspezifisch. In Sachsen ist das Sächsische Oberbergamt mit Sitz in Freiberg dem Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr zugeordnet.

In Bayern gibt es eine Zweiteilung, die Bergämter Nordbayern und Südbayern, welche dem [bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie](#) zugeordnet sind.

Das LBEG ist [Bergbehörde](#) für Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein und Hamburg sowie Staatlich Geologischer Dienst für Niedersachsen.

5.7 Fallbeispiele

Die Ausführungen in diesem Abschnitt sollen einen allgemeinen Überblick über vorhandene Daten und deren Verfügbarkeit geben. Für konkrete Angaben über Teufen und Raumlagen müssten die Daten zunächst bezogen werden, was den Rahmen dieses Berichtes sprengen würde.

5.7.1 Sachsen

5.7.1.1 Geologische Karten

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) übernimmt die Aufgabe des SGD in Sachsen. Das Sächsische Oberbergamt vollzieht das Bundesberggesetz. Beide Behörden sind unterschiedlichen Ministerien zugeordnet und existieren parallel mit verschiedenen Aufgaben.

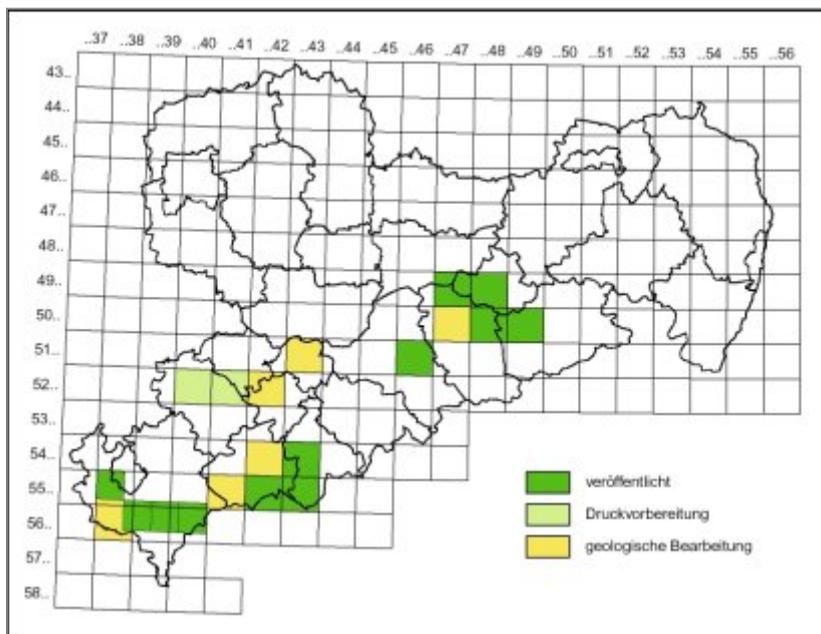
Folgende geologische Karten, welche für die unterirdische Raumplanung relevant sind, sind beim LfULG vorhanden:

- Geologische Karten in den Maßstäben 1 : 25.000, 1 : 50.000, 1 : 200.000
- Lithofazieskarten Quartär 1 : 50.000
- Lithofazieskarten Tertiär 1 : 50.000
- Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland 1 : 100.000
- Grenzübergreifende geologische Karte des Komplexes Lausitzer Antiklinalzone und Jizera-Karkonosze Block 1 : 100.000
- Hydrogeologische Übersichtskarten 1 : 200.000, 1 : 400.000

- Hydrogeologische Grundlagenkarten 1 : 50.000
- Rohstoffgeologische Karten
- Hohlraumverdachtskarten

Das LfULG stellt grundlegende geologische Informationen in Form von geologischen Karten unterschiedlicher Maßstäbe zur Verfügung. Vor allem die geologischen Karten sind flächenhafte Darstellungen der an der Erdoberfläche anstehenden Gesteine, ihres geologischen Alters, ihrer relativen Lagebeziehungen und ihrer Genese sowie des geologischen Baus in einer dem Maßstab entsprechenden Informationsdichte. Den darzustellenden geologischen Inhalten kann regional eine unterschiedliche Gewichtung zukommen. Die Geologische Karte ist Grundlage für weitere spezielle geologische Kartierungen wie die der Hydrogeologie, Ingenieurgeologie oder Rohstoffe. Sie dient sowohl als Informationsgrundlage als auch für Entscheidungszwecke und als Planungshilfe. Ein umfangreicher Altbestand besteht für GK 25 von 1875 bis 1972. Für Sachsen existieren ab 1997 nur eine Auswahl aktualisierter Karten, entsprechend Abb. 16.

Abb. 16: Neu bearbeitete geologische Karten 1:25.000 ab 1997



Quelle: LfULG o. J.

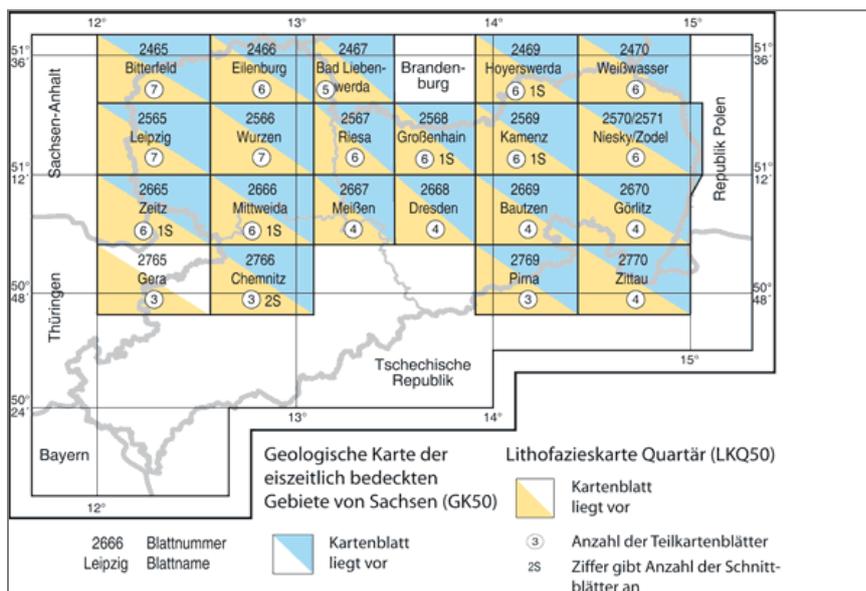
Ein wichtiger Bestandteil für die Modellierung des Untergrundes und damit unerlässlich für die unterirdische Raumplanung sind die geologischen Karten im Format 1 : 50.000 (GK 50). Die Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete stellt den geologischen Bau der jüngeren Formationen Sachsens dar. Es werden die an der Oberfläche anstehenden Locker- und Festgesteine der eiszeitlich bedeckten Gebiete dargestellt (LfULG o. J. 2). Mit den Kartendarstellungen sind folgende Aussagen machbar:

- der Bodenbildung,
- der Wasserführung,
- der Verbreitung von nutzbaren Locker- und Festgesteinen,

- der mögliche Reichweite von Umweltschäden und
- der Deponiemöglichkeiten.

Die Lithofazieskarten Quartär im Maßstab 1 : 50.000 (LKQ 50) (Abb. 3) „sind eine lithostratigraphisch unteretzte Folge geologischer Grundkarten mit zahlreichen Dokumentationspunkten, die ein Ablesen bzw. eine Ableitung der Schichtenfolge aller quartären Bildungen und des ersten präquartären Horizontes an jedem beliebigen Punkt einer Blatteinheit gestatten“ (LfULG o. J. 3). Da mehr als 50 lithostratigraphische und lithofazielle Horizonte unterschieden werden, wurden für die Darstellung mehrere Horizontkarten gewählt.

Abb. 17: Übersicht der geologischen Karten der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen und Lithofazieskarten Quartär



Quelle: GeoSN o. J.

Für die Gesteine des Tertiärs existieren Lithofazieskarten Tertiär im Maßstab 1 : 50.000 (LKT 50) (Abb. 4) mit folgenden Inhalten:

- Verbreitungsgrenze (primär/sekundär) der stratigraphischen Einheit
- Liegendisohypsen der stratigraphischen Einheit
- Verbreitungsgrenzen ausgewählter wichtiger Einzelschichten (z. B. Grundwasserleiter, Tonhorizonte, Braunkohlenflöze)
- Postsedimentäre aktive Störungen
- Lagerungsstörungen infolge glazigener oder subrosiver Einflüsse
- Bohrungen und ausgewählte Bohrstäbchen (Höhenmaßstab 1 : 1.000)

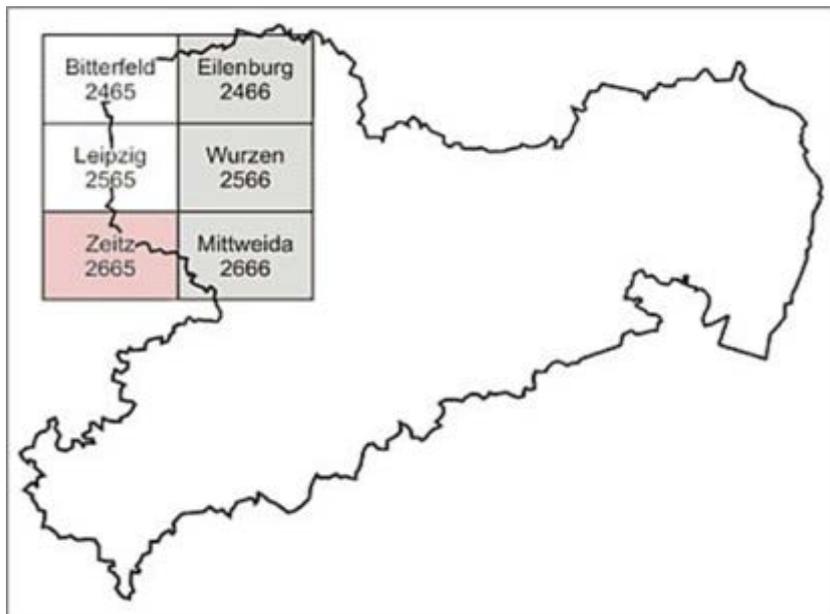
Dabei besteht jeder Kartensatz aus folgenden Teilkarten:

- Aufschlusskarte
- Übersichtskarte Bergbau
- Quartärbasiskarte

- Max. 8 Karten des aufgegliederten Tertiärprofils als schichtweise abgedeckte Folge
- Prätertiärkarten (Isohypsenkarte der Prätertiäroberfläche, Lithologie)
- 4 Regionalschnitte

Die Lithofazieskarten Tertiär werden in den gleichen Blattschnitten wie die LKQ 50 und die GK 50 dargestellt (LfULG o. J. 4) sind aber nur für Regionen mit großflächiger Tertiärverbreitung verfügbar.

Abb. 18: Übersicht der Lithofazieskarten Tertiär 1:50.000



Quelle: LfULG o. J. 4

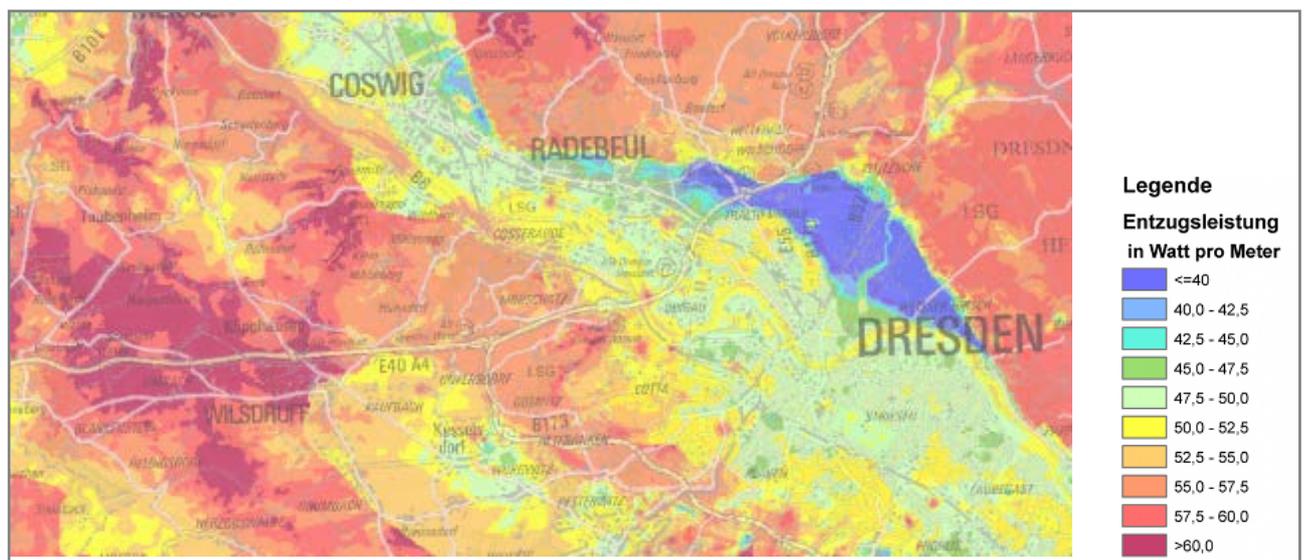
Für unterirdische Räume Sachsens ist die grenzübergreifende geologische Karte des Komplexes der Lausitzer Antiklinalzone und des Jizera-Karkonosze Blocks im Maßstab 1 : 100.000 von großer Bedeutung. Sie enthält die aktuellste Darstellung der geologischen Festgesteinseinheiten und wurde ab 1996 in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst Tschechiens erstellt. Diese Karte ist digital im ArcGis-Format verfügbar (LfULG o. J. 5). Darüber hinaus ist die Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland im Maßstab 1 : 100.000 relevant, da bestimmte Regionen von der oben genannten grenzübergreifenden geologischen Karte nicht abgebildet werden. Die 1995 in zweiter Auflage veröffentlichte Karte besteht aus zwei Blattschnitten (Ost und West) und ist ausschließlich in analoger Form zugänglich.

Basierend auf der geologischen Karte werden hydrogeologische Karten erstellt. Dabei gibt es zum einen großmaßstäbliche Übersichtskarten mit Maßstab 1 : 400.000 und 1 : 200.000. Letztere beinhalten in unterschiedlichen Themenvarianten Informationen zur Durchlässigkeit, Gesteinsart, dem geothermischen Gesteinstyp, Hohlräumen, Verfestigungen, Schutzpotenzial der Grundwasserüberdeckung und hydrogeochemischer Einheiten. Zum anderen werden seit 2000 digitale hydrogeologische Grundlagenkarten im Maßstab 1 : 50.000 blattschnittweise erarbeitet (HyK 50). Diese erlauben in einer hohen Auflösung

Informationen über: Basisfläche, Deckfläche, Mächtigkeitsverteilung, Maximalausdehnung in Horizontalprojektion, geogene und anthropogene Kommunikationsbereiche innerhalb und zwischen hydrogeologischen Körpern.

Ausgehend von der hydrogeologischen Spezialkartierung wurde auf Grundlage geothermischer Umbewertung hydrogeologischer Körper der HyK 50, die geothermische Karte erstellt (Abb. 5). Die darin enthaltenen Informationen sind über den interaktiven Kartendienst (Kap. 5.7.1.2) verfügbar. Informationen zur oberflächennahen Geothermie sind umfangreich vorhanden. Interaktive geothermische Potenzialkarten (Karte der oberflächennahen geothermischen Entzugsleistung), die erlauben einen Standort hinsichtlich seiner Eignung zur Geothermie vorab zu bewerten, sind digital verfügbar.

Abb. 19: Kartenausschnitt aus der geothermischen Potenzialkarte Sachsen



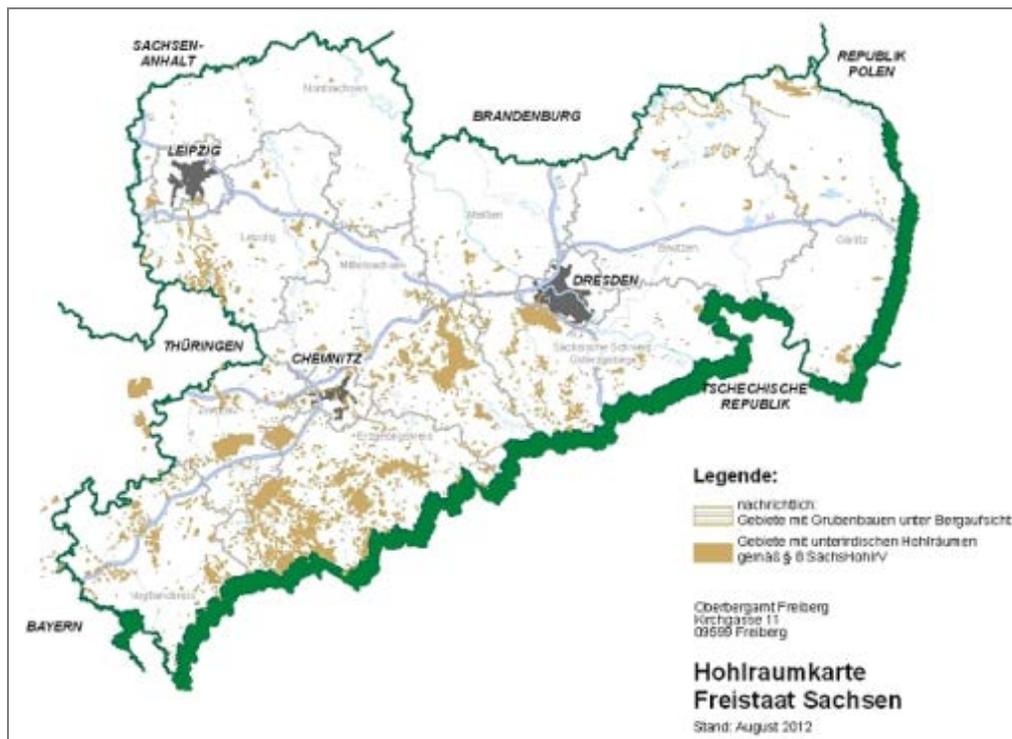
Quelle: LfULG o. J. 6

Rohstoffgeologische Karten M 1 : 50.000 (KOR 50) geben Aufschluss über flächige Verbreitung von Vorkommen mineralischer Rohstoffe. Die Darstellung erfolgt nach Rohstoffgruppen in Spezialkarten: Hartgesteine, Karbonatgesteine, Kiessande und Kiese, Sande und Spezialsande, Lehme und Mergel, Tone und Spezialtone, Kaoline, Bentonite, sonstige Industrieminerale, Erze, Torf und Braunkohle (LfULG o. J. 7). Die Karten können über das Internetportal des LfULG abgerufen werden.

Daten des Berg- und Hüttenwesens sowie von Montanunternehmen bis 1990 werden im heutigen Bergarchiv Freiberg verwahrt und können dort eingesehen werden. Dieses ist dem Sächsischen Staatsarchiv untergeordnet. In dem bis 1679 belegbaren Archiv, finden sich umfangreiche Informationen zu ehemaligen Bergwerken und Montanunternehmen. Als Abteilung des Sächsischen Staatsarchivs werden hier Unterlagen des Berg- und Hüttenwesens bis 1990 verwahrt. Aus diesen Informationen wurden Hohlraumverdachtskarten abgeleitet. Sie geben Informationen über Gebiete mit unterirdischen Hohlräumen, welche beim Sächsischen Oberbergamt abgefragt werden können. So existieren beispielsweise im ehemaligen Revier Zwickau Schächte bis > 1.000 m, von denen untertägige Strecken abgehen. Hohlraumverdachtskarten sind entsprechend § 8 der Sächsischen Hohlraumverordnung aufgestellt. Diese visualisieren Gebiete mit möglichen un-

terirdischen Hohlräumen, siehe Abb. 20, welche bestimmte unterirdische Nutzungen behindern, aber auch begünstigen könnten. So können beispielsweise vorhandene unterirdische Hohlräume zu Deponierung genutzt werden, während ein Durchteufen von Hohlräumen mit Bohrungen technisch problematisch ist.

Abb. 20: Hohlraumverdachtskarte (Übersichtskarte) von Sachsen



Quelle: SMWA 2012

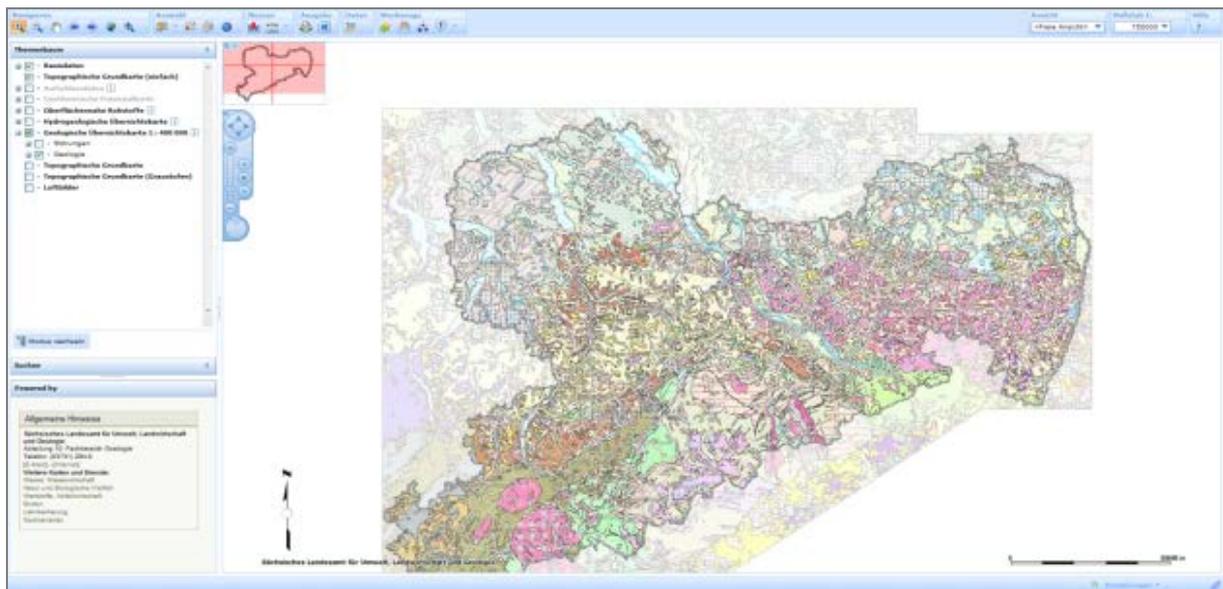
5.7.1.2 Interaktiver Kartendienst

Neben den Standardkarten gibt es für Sachsen einen interaktiven Kartendienst (Abb. 21). Dieser beinhaltet spezifische Themenbäume, mit welchen die Kartengrundlage themenspezifisch angepasst werden kann. Beispielsweise kann die geothermische Potenzialkarte nach der Entzugsleistung in Watt pro Meter für eine bestimmte Anzahl von Betriebsstunden bis zu einer bestimmten Bohrtiefe abgefragt werden, u. a.:

- Entzugsleistung in Watt pro Meter für 1.800 Betriebsstunden – bis 40 m Bohrtiefe
- Entzugsleistung in Watt pro Meter für 1.800 Betriebsstunden – bis 70 m Bohrtiefe
- Entzugsleistung in Watt pro Meter für 1.800 Betriebsstunden – bis 100 m Bohrtiefe
- Entzugsleistung in Watt pro Meter für 2.400 Betriebsstunden – bis 100 m Bohrtiefe

Hydrogeologische Karten können beliebig angepasst und Parameter wie z. B. die Durchlässigkeit, Störungen, Verfestigungen, Hohlräume oder hinsichtlich der Gesteinsart angezeigt werden. Dabei sind ausgewählte Themen nur in bestimmten Maßstäben sichtbar.

Abb. 21: Interaktiver Kartendienst von Sachsen mit spezifischen Themenbereichen.



Quelle: (LfULG o. J. 8)

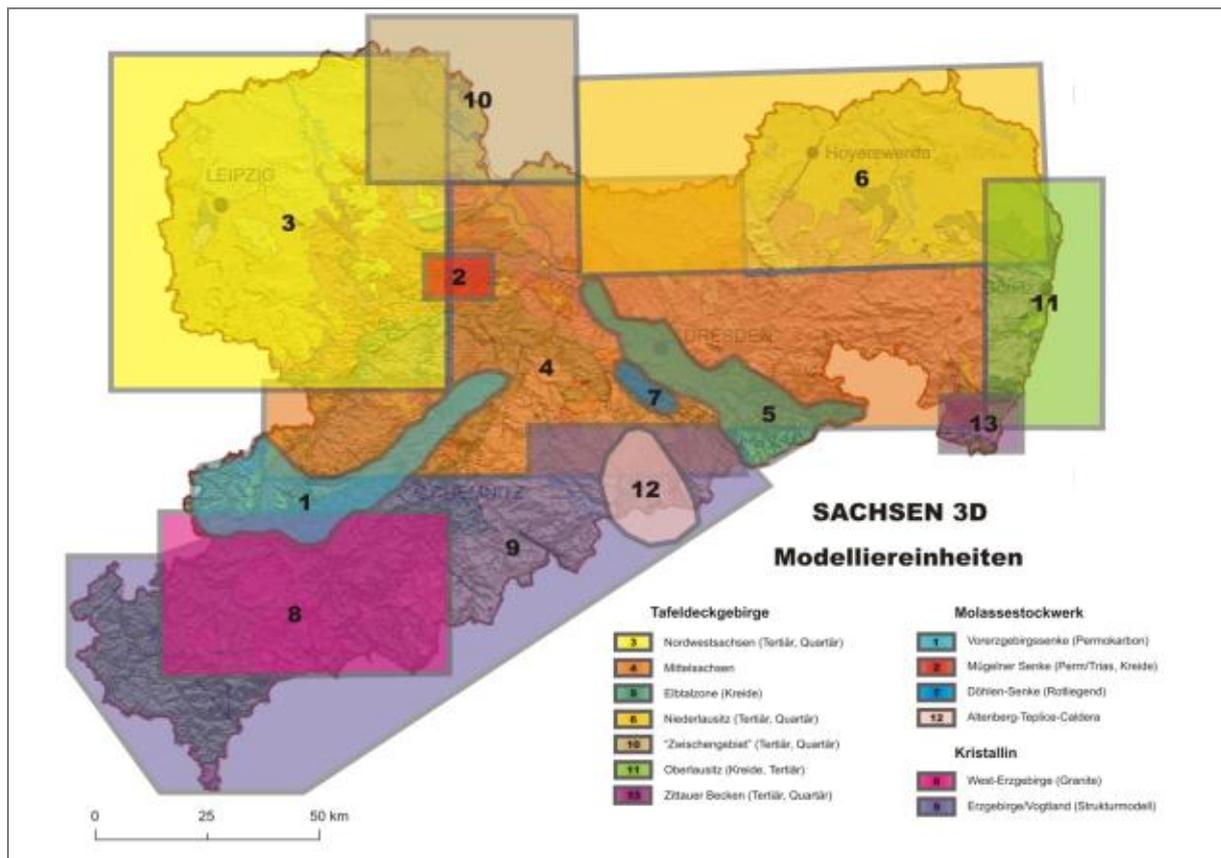
Folgende geologische Karten sind digital für Sachsen verfügbar:

- Geologische Aufschlüsse
- Geothermische Aufschlüsse
- Geothermische Potenzialkarte
- Oberflächennahe Rohstoffe
- Steine-Erden-Gewinnungsstellen
- Hydrogeologische Übersichtskarte
- Geologische Karte M 1 : 50.000 (GK 50)
- Geologische Übersichtskarte M 1 : 400.000
- Modellierung des Untergrundes bis 200 m unter Geländeoberkante (GOK)

Um eine landesweit konsistente Datengrundlage für Geologie, Ingenieur-, Rohstoff- und Hydrogeologie zu schaffen, wird ein einheitliches 3D-Modell erarbeitet. Die Modellereinheiten beziehen sich dabei auf geologische Regionen. Weiterhin werden auch grenzübergreifende Gebiete modelliert. Da geologische Strukturen nicht an administrative Grenzen gebunden sind, arbeitet das LfULG mit polnischen, tschechischen und inländisch angrenzenden Behörden zusammen. Beispielsweise werden die Modelleinheiten 11 (Oberlausitz), 12 (Teplice-Altenberg-Caldera) und 13 (Zittauer Becken) grenzübergreifend behandelt (LfULG o. J. 9).

Weiterhin können in dem Kartendienst Übersichtskarten zu geologischen Aufschlüssen angezeigt werden. Dies sind Darstellungen von Bohrungen. In einer zur Ansicht korrespondierenden Ergebnisliste werden Daten über die Bohrung angezeigt, u. a. Identifikationsnummer, Bezeichnung, Koordinaten, Endteufe sowie die Information, ob Fachdaten zur Bohrung vorhanden sind oder nicht. Bei Interesse, kann über die Identifikationsnummer der Besitzer der Daten ermittelt werden (LfULG o. J. 10).

Abb. 22: Einteilung Sachsens in 13 Modelleinheiten



Quelle: LfULG 2012

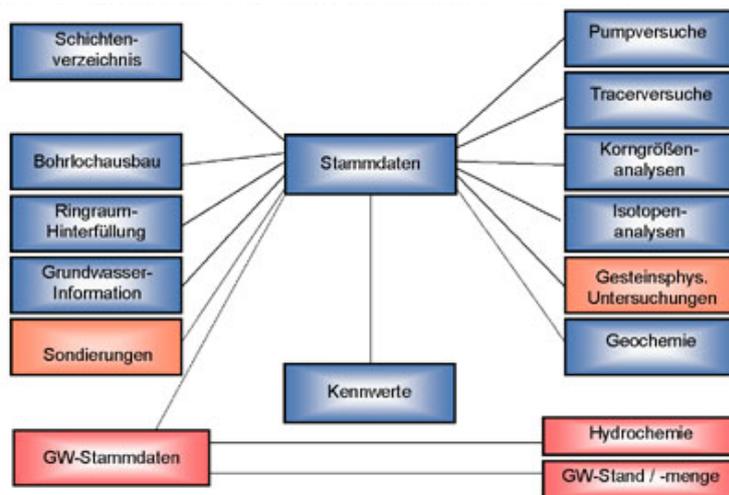
5.7.1.3 Aufschlussdatenbank UHYDRO

Neben den Kartendaten verfügt das LfULG mit dem Programm UHYDRO über eine umfangreiche Bohrungsdatenbank. UHYDRO ist ein Erfassungsprogramm für alle Daten zu geologischen Bohrungen sowie für Sondierungen, Pumpversuche und andere Untersuchungen zum geologischen Untergrund.

Es dient der einheitlichen Erfassung der Daten und bildet damit die Grundlage für einen effektiven Datenaustausch. Das LfULG hat als zentrale Fachbehörde die Aufgabe, geologische Informationen für Sachsen zu sammeln und verfügbar zu halten. Die gesetzliche Grundlage dafür bildet das Lagerstättengesetz vom 4.12.1934, zuletzt geändert am 10.11.2001 in Verbindung mit der Verordnung zur Übertragung von Zuständigkeiten nach dem Lagerstättengesetz des SMUL und des SMWA vom 19.12.2006.

UHYDRO wurde in erster Linie für die Urheber der Daten (Ingenieurbüros, Bohrfirmen, Hochschulen oder Labore) entwickelt. Die Nutzung der erfassten Daten kann wiederum durch jede Behörde, Firma usw. erfolgen, wenn ein entsprechender Anlass (Projekt, Auftrag usw.) vorliegt (LfULG 2013 d).

Abb. 23: Übersicht über die Struktur der Aufschlussdatenbank UHYDRO)



Quelle: LfULG 2013 d

Der derzeitige Erfassungsstand in Sachsen ist etwa:

- Stammdaten zu ca. 520.000 Aufschlüssen
- Schichtdaten bzw. Schichtverzeichnisse zu ca. 380.000 Aufschlüssen
- Ausbau- und Hinterfüllungsdaten zu ca. 32.000 Grundwassermessstellen und Brunnen
- 2800 Pumpversuche

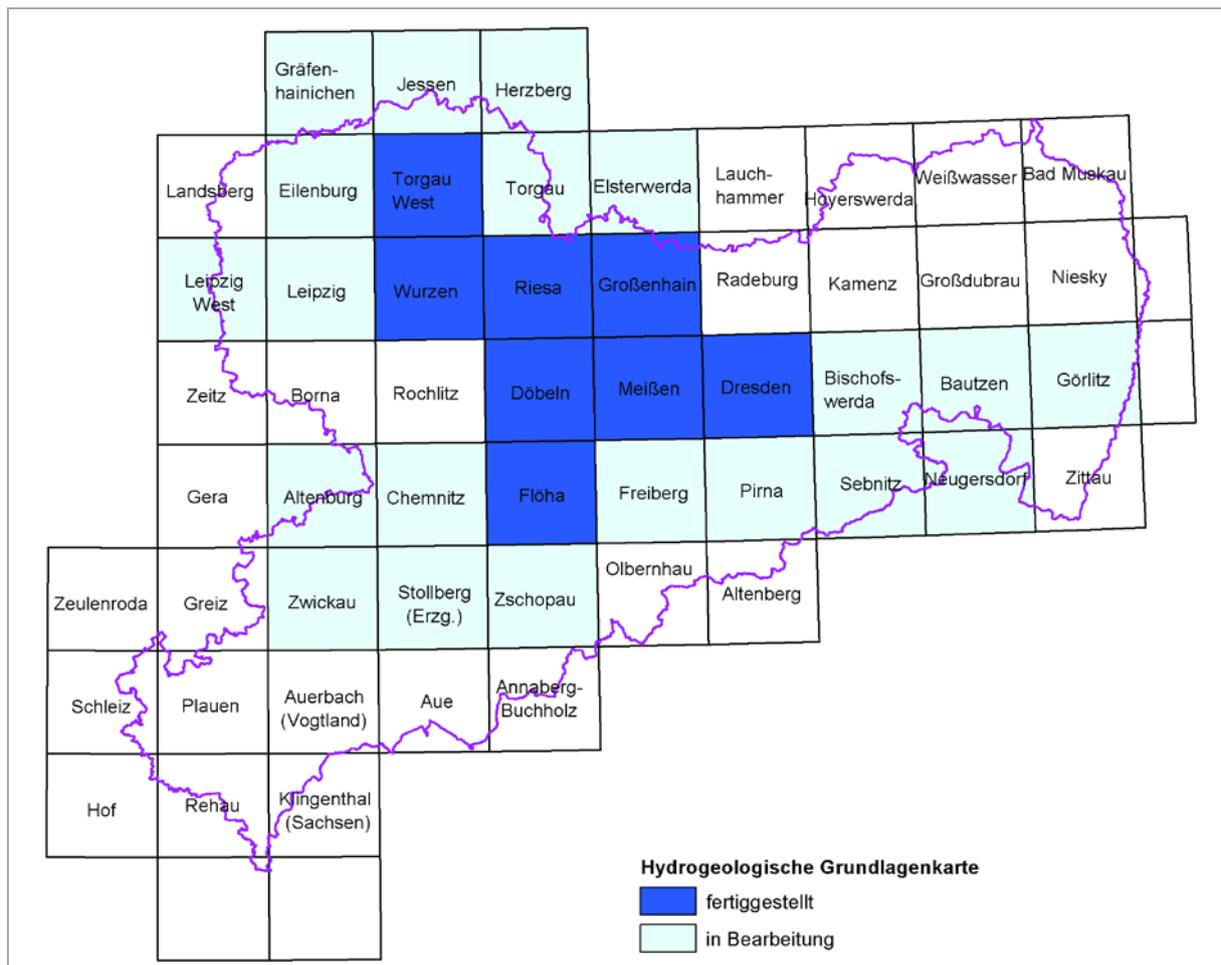
5.7.1.4 3D-Modelle

Da bestehende Hydrogeologische Karten veraltet und für moderne Anforderungen nicht mehr geeignet waren, wurde 2001 entschieden, eine sachsenweite hydrogeologische Spezialkartierung durchzuführen. Dabei werden im Maßstab 1 : 50.000 wichtige hydrogeologische Körper dreidimensional konstruiert.

Die Konstruktion der hydrogeologischen Körper basiert auf einer zumeist geostatistischen Interpolation von Schichtmächtigkeiten, Basisflächen und/oder Basislinien unter Verwendung des validierten Aufschlussdatenbestandes sowie unter Zuhilfenahme des gesamten analogen regionalgeologischen Kenntnisstandes (Expertenwissen). Die technische Umsetzung erfolgt mit 3D-Software-Werkzeugen (z. B. SURPAC®, GOCAD®, ROCKWORKS®, u. a.). Die so genannten Solids (3D-Daten geologischer/hydrogeologischer Körper) werden anschließend in ein softwareneutrales Format gewandelt und in einer ORACLE-Datenbank gespeichert (LfULG 2013 e).

3D-Daten zum hydrogeologischen Bau Sachsens werden Interessenten soweit bereits verfügbar, auf Anfrage bereitgestellt (Arbeitsstand).

Abb. 24: Übersicht über den Arbeitsstand der hydrogeologischen Spezialkartierung Sachsen



Quelle: LfULG 2013 e

5.7.1.5 Zusammenfassung

Sachsen ist ein Land, welches aufgrund seiner Bergbauhistorie umfassend erkundet wurde. Für die Oberfläche stehen eine Vielzahl geologischer und Spezialkarten zur Verfügung. Der Untergrund ist durch Bohrungen an vielen Stellen erkundet. Da in Sachsen die Lockergesteinsbedeckung in den meisten Regionen nur geringmächtig vorhanden ist, reichen die Bohrungen aber nur selten tiefer als 1.000 m. Bohrungsdaten stehen dem LfULG in großer Zahl zur Verfügung. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl an Erkundungsdaten, Schnitten, Rissen und Modellen aus historischen und aktuellen Bergbauunternehmungen. Mit den 3D-Körpern aus der hydrogeologischen Spezialkartierung steht eine geeignete Basis für eine unterirdische Raumplanung zur Verfügung.

Für eine unterirdische Raumplanung ist die Datenlage in Sachsen als gut einzuschätzen.

5.7.2 Bayern

5.7.2.1 Geologische Karten

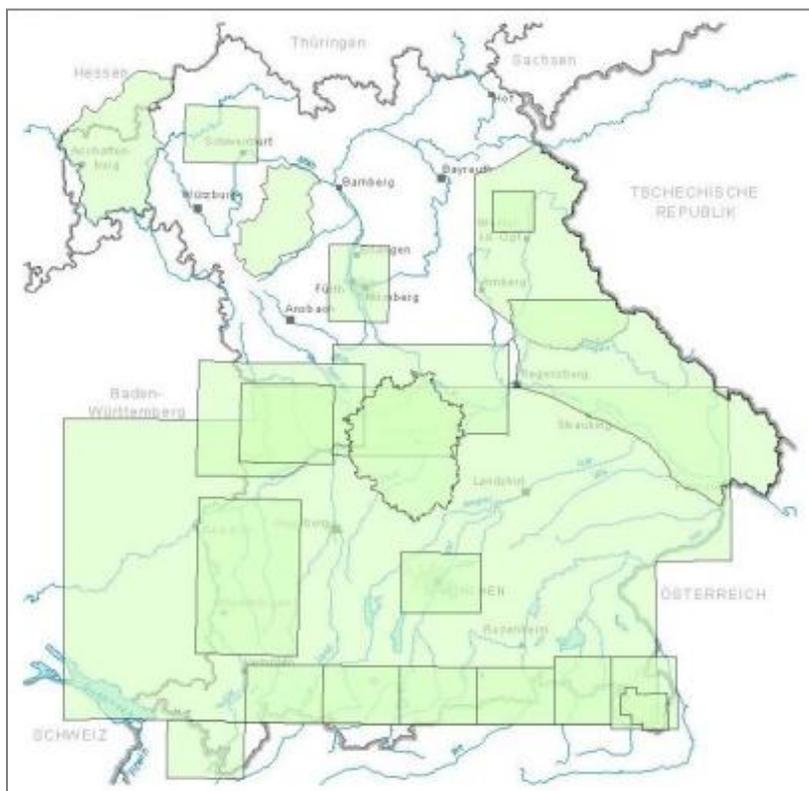
Die Aufgaben des SGD in Bayern werden durch das LfU wahrgenommen. Wie in Sachsen, existieren auch in Bayern großmaßstäbliche geologische Kartierungen bzw. geologische

Spezialkartierungen. Folgende geologische Kartenwerke, welche für eine unterirdische Raumplanung als Grundlage dienen könnten, sind abrufbar:

- Oberflächennahe Rohstoffe, Maßstab 1 : 200.000 (in Bearbeitung mit BGR)
- Lagerstätten in Bayern, Maßstab 1 : 500.000
- Mineralische Rohstoffe, Maßstab 1 : 500.000
- Geologie Karte Bayern in den Maßstäben 1 : 25.000, 1 : 200.000, 1 : 500.000
- Sonderkarten der Geologie für ausgewählte Regionen, Maßstab 1 : 50.000 (Abb. 25)
- Bayerischer Geothermieatlas
- Regionale Sonderkarten z. B. 1 : 300.000 Süddeutsche Molasse

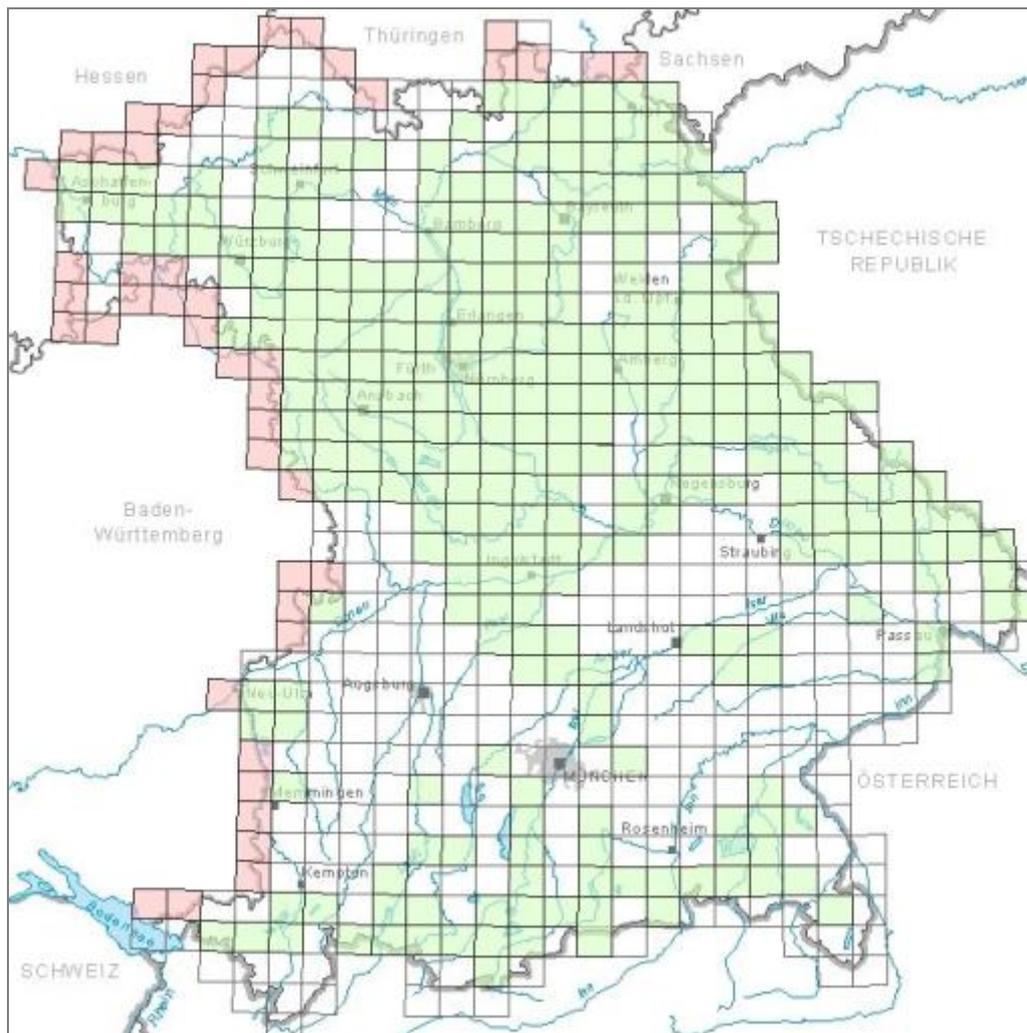
Entscheidend für Planungen aller Art ist die geologische Kartierung im Maßstab 1 : 25.000. Die gesamte Fläche Bayerns soll bis 2015 kartiert sein. Abb. 25 zeigt eine Übersicht der bereits fertiggestellten Kartenblätter. Die rot markierten Zellen zeigen Bereiche der Grenzkarten an. Grün markierte Zellen verweisen auf aktuell kartierte Gebiete (LfU 2013 b). Insgesamt sind 282 Kartenblätter abgedeckt.

Abb. 25: Übersicht zu regionalen Sonderkarten (grüne Markierung)



Quelle: LfU 2013 a

Abb. 26: Darstellung der verfügbaren Kartenblätter der geologischen Karten von Bayern im Maßstab 1 : 25.000

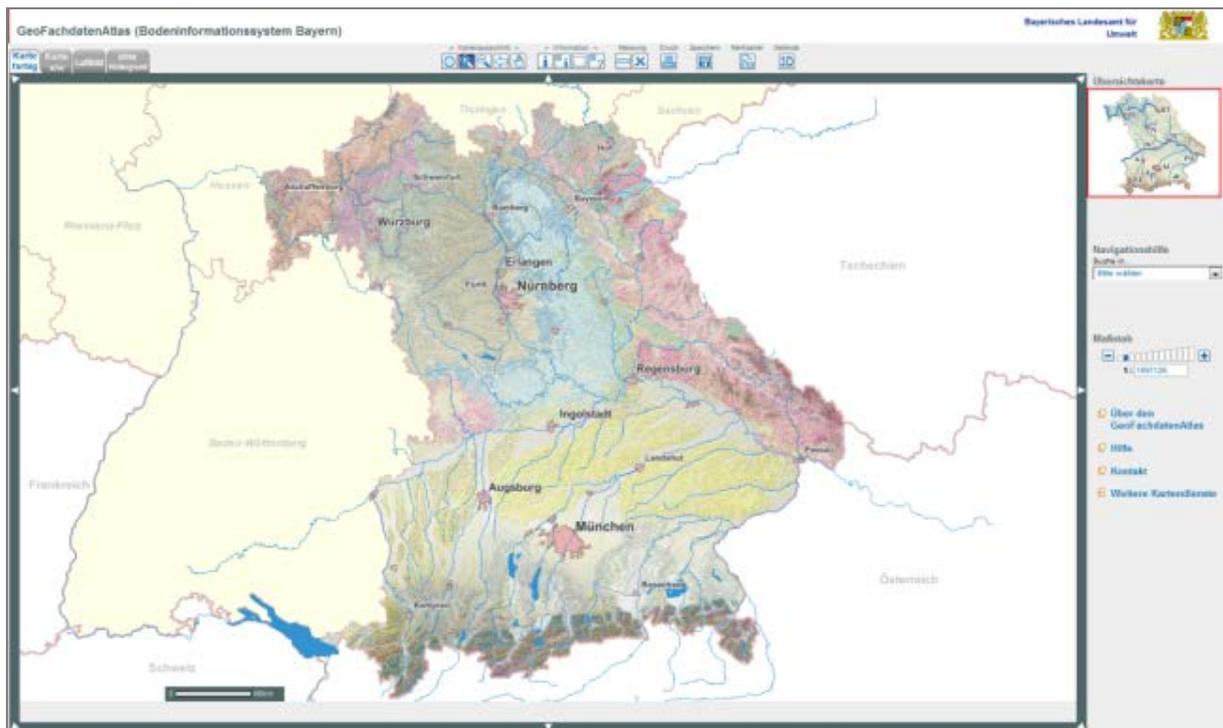


Quelle: LfU 2013 b

5.7.2.2 GeoFachdatenAtlas - Bodeninformationssystem

Der Internetdienst, GeoFachdatenAtlas gehört zum Bodeninformationssystem Bayern (BIS). Mit diesem Dienst können Grundlagendaten und Fachinformationen abgerufen werden (Abb. 27). Mittels einer Fachthemenauswahl können in unterschiedlichen Maßstäben Informationen angezeigt werden. Er beinhaltet Informationen von u. a. Bohrungs- und Aufschlussdaten, Geologie und Hydrogeologie sowie Rohstoffen. Es sind ca. 370.000 Geoobjekte (Einzelobjekte) erfasst, wovon 315.000 detailliert dargestellt sind (Stand: 28.02.2013).

Abb. 27: GeoFachdatenAtlas/Bodeninformationssystem Bayern (Übersichtskarte zu Illustrationszwecken ohne Legende)



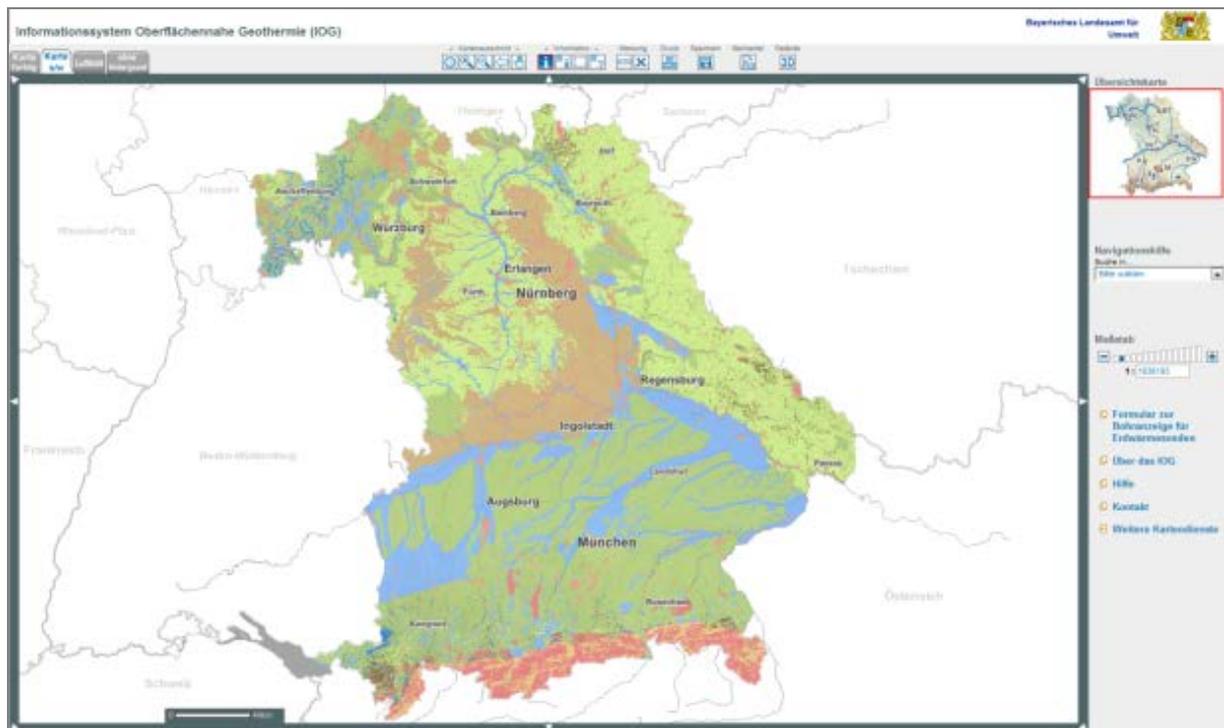
Quelle: BIS Bayern 2013

Im Themenbaum können in unterschiedlichen Maßstäben variierende Karten abgefragt werden. Beispielsweise können im Themenbereich „Bohrungs- und Aufschlussdaten“, Bohrungen oder Aufschlüsse zur Geologie sowie Aufschlüsse zur Bodenkunde abgefragt werden. Im Detail konkretisiert sich die Auswahl z. B. auf Aufschluss Geologie, Geologisches Profil und Einzelfundpunkt.

5.7.2.3 Informationssystem Oberflächennahe Geothermie

Für Auskünfte über die Nutzung von oberflächennaher Geothermie gibt es das Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (IOG). In diesem Rahmen werden verschiedenste Fachthemen aufgegriffen und in Bezug auf die geothermischen Nutzungen dargestellt. So können Fachthemenkarten für die Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärmesonden, Wasserschutzgebiete, Gesteinsverfestigungen bis 100 m, Bohrrisiken oder die geothermische Effizienz für Standorte sowie tektonische Störungen abgerufen werden (Abb. 28).

Abb. 28. Auszug aus dem Informationssystem Oberflächennahe Geothermie, Bohrrisiken (Übersichtskarte zu Illustrationszwecken ohne Legende)



Quelle: BIS Bayern 2013 b

5.7.2.4 Modellierung des Untergrundes

Im Rahmen der hydrogeologischen Landesaufnahmen werden für die 14 bayerischen Planungsregionen 3D-Modelle entwickelt. Sukzessiv werden diese Gebiete geologisch, hydrogeologisch und bodenkundlich kartiert. Der Detailgrad der hydrogeologischen Landesaufnahme richtet sich nach der hydrogeologischen Bedeutung der jeweiligen Region. Dabei liefern die Modelle Schichtgrenzen anhand unterschiedlicher Daten, welche für weitere Berechnungen genutzt werden (LfU 2013 c), siehe Abb. 29:

- Schutzfunktionskarte der Grundwasserüberdeckung
- Karte der Einsatzmöglichkeiten von Methoden der Nutzung von oberflächennaher Geothermie
- Numerische Grundwasserströmungsmodelle
- Statistische Charakterisierung von Grundwasserleitern durch physikalische Parameter (z. B. Durchlässigkeiten, Korngrößenverteilung)
- etc.

Ziel ist ein landesweites 3D-Untergrundmodell. Dieses wird etappenweise, zunächst an den wichtigsten großräumigen Einheiten (Oberkante Grundgebirge, Oberkante Malm und Unterkante Tertiär) modelliert. Ein solches 3D-Untergrundmodell könnte eine geeignete Basis für eine unterirdische Raumplanung darstellen.

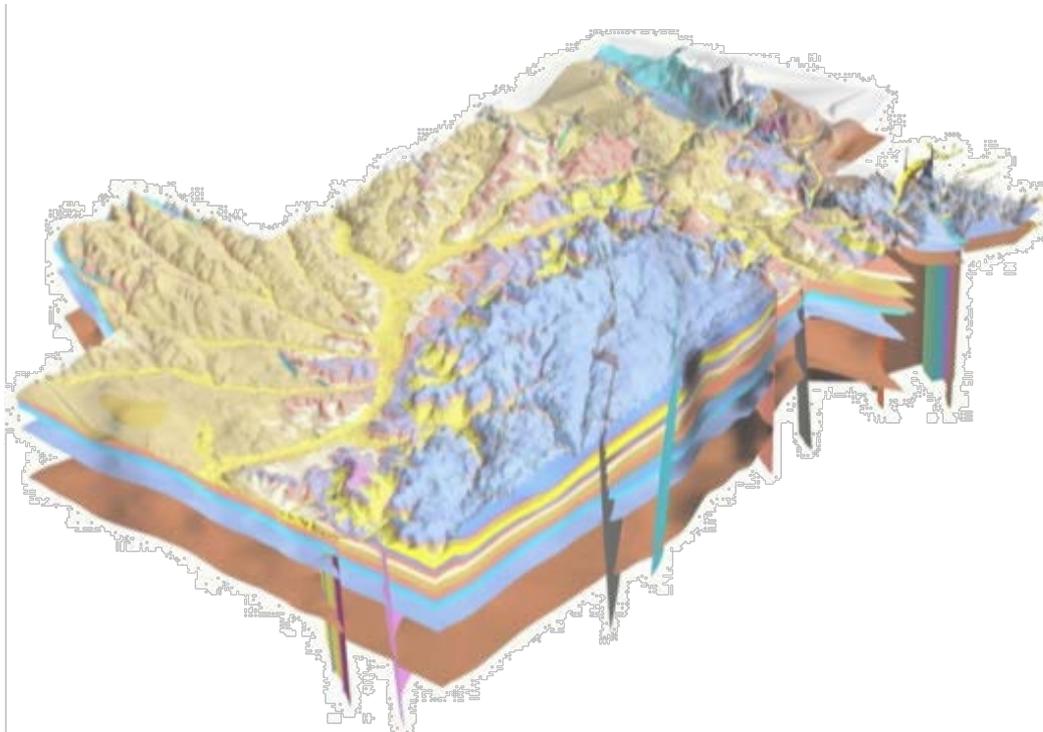
Abb. 30 zeigt ein Strukturgeologisches 3D-Modell der Planungsregion Oberfranken-West. Hier werden schematisch die Lage und Mächtigkeit ausgesuchter geologischer Einheiten, sowie der Verlauf wichtiger Störungen dargestellt. Nutzer dieser Modelliererergebnisse sind vorrangig private Firmen sowie die Öffentlichkeit.

Abb. 29: Auszug aus der Übersicht zur 3D-Modellierung in Bayern

<p>3D-Modell Planungsregion 13, Landshut</p> <ul style="list-style-type: none">■ Anwendungsbereiche: Hydrogeologische Modellierungen, Numerische Grundwassermodelle, Schutzfunktionskarten, Nutzungskarten der oberflächennahen Geothermie■ Datenbasis: Bohrungen, geologische Schnitte, geol. Kartierung■ Projekt: Hydrogeologische Landesaufnahme 2004 - 2007■ Stand: Abgeschlossen, Aktualisierung nach Bedarf <p>3D-Modell Großraum Nürnberg</p> <ul style="list-style-type: none">■ Anwendungsbereiche: Hydrogeologische Modellierungen, Numerische Grundwassermodelle, Schutzfunktionskarten, Nutzungskarten der oberflächennahen Geothermie■ Datenbasis: Bohrungen, geol. Kartierung■ Projekt: Informationsoffensive Oberflächennahe Geothermie 2008 - 2011■ Stand: wird derzeit erstellt <p>3D-Modell Region München</p> <ul style="list-style-type: none">■ Anwendungsbereiche: Tiefe Geothermie■ Datenbasis: Bohrungen, Reflektionsseismik■ Stand: wird derzeit erstellt

Quelle: LfU 2013 c

Abb. 30: Beispielhafte Darstellung eines strukturgeologischen 3D-Modells der Oberfläche. Gut erkennbar sind die Schichtgrenzen ausgesuchter geologischer Schichten, sowie der Verlauf von steilstehenden Störungen im Kartierungsgebiet. (Schematische Darstellung ohne Legende)



Quelle: LfU 2013 c

5.7.2.5 Zusammenfassung

Ähnlich wie in Sachsen ist Bayern recht umfassend erkundet, wobei nicht für alle Regionen hochaufgelöste geologische Karten zur Verfügung stehen. Dreidimensionale Modelle des Untergrundes sind zurzeit noch nicht flächendeckend vorhanden, werden aber im Zuge der hydrogeologischen Landesaufnahme nach und nach ergänzt. Aufschlussdaten sind über den Geofachdatenatlas - Bodeninformationssystem flächendeckend erhältlich.

Die Datenlage für eine unterirdische Raumplanung in Bayern ist als gut einzuschätzen, da Geodaten und die für die Raumplanung notwendigen Modelle für einen Großteil der Fläche verfügbar sind.

5.7.3 Niedersachsen

5.7.3.1 Geologische Karten

Die Aufgaben des SGD in Niedersachsen übernimmt das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG). Im Rahmen der geologischen Landesaufnahme werden geologische Fachdaten abgeleitet. Die Produkte der Arbeit sind die geologischen Karten. Diese sind im niedersächsischen Kartenserver NIBIS® oder als gedruckte Exemplare verfügbar. Die topographische Grundlage der Karten bilden die Daten des amtlichen topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) des Landesvermessungsamtes. Folgende geologische Karten, welche für unterirdische Raumplanung genutzt werden könnten, sind beim LBEG vorhanden (LBEG 2013 a):

- Geologische Karte M 1 : 25.000 – Gebinde
- Geologische Karte M 1 : 25.000
- Geologische Karte M 1 : 50.000
- Geologische Übersichtskarten M: 1 : 200.000 und 1 : 500.000
- Quartärgeologische Übersichtskarte M 1 : 500.000
- Geologische Küstenkarte – Profiltypen des Holozän M 1 : 25.000
- Geologische Küstenkarte – Relief der Holozänbasis M 1 : 25.000

5.7.3.2 Interaktiver Kartendienst

Neben den geologischen Karten gibt es beim LBEG eine Reihe von online verfügbaren Daten.

Der NIBIS® Kartenserver bietet Zugang zum Niedersächsischen Bodeninformationssystem (Abb. 15). Der Benutzer erhält Zugang zu fast allen am Landesamt verfügbaren Kartendaten zu folgenden Themen:

- Altlasten
- Bergaufsicht (Bergbau)
- Biostratigraphie
- Bodenkunde
- Bohrungen und Profilbohrungen
- Erosion (Cross Compliance)
- Flächenverbrauch Bodenversiegelung
- Geologie
- Geothermische Potentiale
- Geotope
- Hydrogeologie
- Ingenieurgeologie
- Kohlenwasserstoffgeologie
- Profilschnitte
- Rohstoffe

bezieht sich auf hydrogeologische und geotechnische Bohrungen von weniger als 100 m Tiefe. In der Datenbank sind Stammdaten und Titeldaten sowie konkrete Schichtenverzeichnisse, Grundwasser- und andere Messdaten beinhaltet. Zugang kann über den Bohranfragedienst vorgenommen werden. Damit können Kenndaten der Bohrung ermittelt werden sowie der Besitzer der Fachinformationen. Abb. 33 zeigt ein Ausgabebeispiel für Bohrungsdaten im Kartenserver. Eine Übersicht der vorhandenen Bohrungen kann auch im NIBIS® Kartenserver eingesehen werden.

Abb. 33: Ausgabebeispiel für Bohrungsdaten im Kartenserver



Quelle: LBEG 2013c

5.7.3.4 Modellierung des Untergrundes

Im dreidimensionalen Raum lassen sich die räumlichen Zusammenhänge der Geologie im Untergrund besser darstellen. So hat auch Niedersachsen ein flächendeckendes 3D-Untergrundmodell aufgebaut.

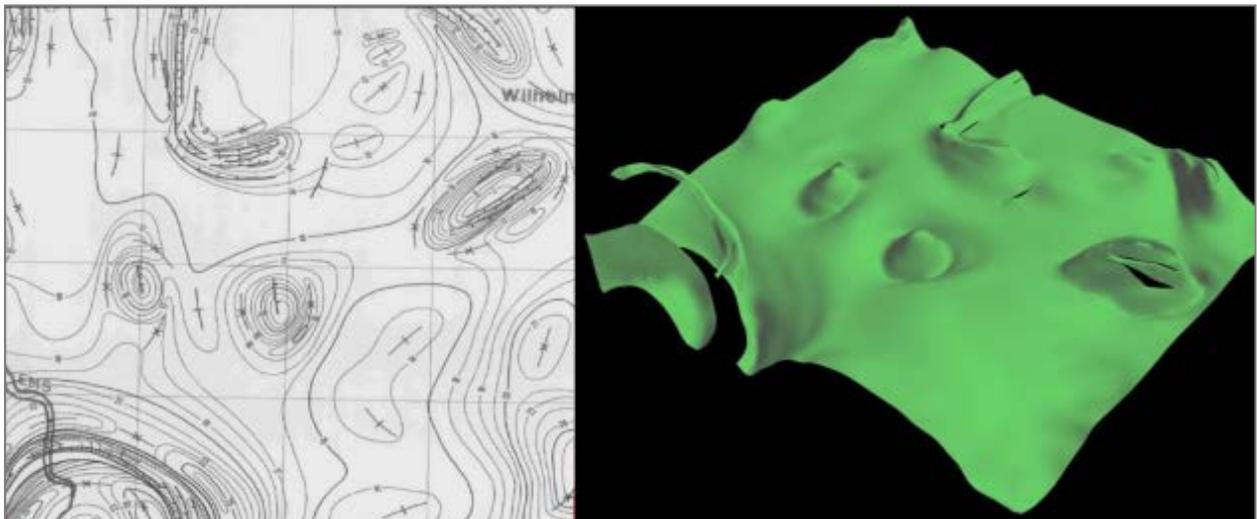
Dies ist damit begründet, dass insbesondere charakteristische Gesteinsmerkmale spezifisch zugewiesen werden können, wie z. B. hydrogeologische Eigenschaften, wie kf-Werte oder Porositäten, oder petrographische Merkmale wie Korngrößenverteilungen oder Gesteinsarten. Diese Darstellung ist für die Bewertung u. a. von Aquiferen oder Lagerstätten bedeutend.

Grundlage für die 3D-Modellierung bildet der geotektonische Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor, welcher in den 1970er und 1980er Jahren von der BGR auf Grundlage von Seismik und Bohrungsdaten der Erdöl- und Erdgasindustrie aufgebaut wurde. Die Verbreitungsgebiete von 14 geologischen Einheiten sind mit ihren wesentlichen Störungen in Tiefenlinienplänen und geologischen Schnitten erfasst (LBEG 2013 d).

Laut LBEG sind Nutzer der Anwendung in folgenden Gebieten zu finden: Erdöl-/Erdgasexploration, Erdwärmennutzung, Untergrundspeicherung, Injektion von Flüssigkeiten (CO₂-Ablagerung, Kavernenbau, etc.) und Hydrogeologie. Der Atlas soll als grundle-

gendes Instrument zur Beratungstätigkeit des LBEG dienen und auch anderen Nutzern (anderen Institutionen, öffentlichen Einrichtungen, Privatpersonen) verfügbar gemacht werden. Da die Grundlagendaten den Stand von 1993 haben, wird es zukünftige Aufgabe sein, das 3D-Modell kontinuierlich zu erneuern und auf den aktuellen Kenntnisstand zu bringen (LBEG 2013 d). Da für die unterirdische Raumplanung ein vergleichbares Modell sinnvoll ist, kann das Untergrundmodell für Niedersachsen als Basis dienen. Abb. 34 zeigt beispielhaft einen Auszug aus dem Modell.

Abb. 34: Basisfläche der Unterkreide: links als Isolinenplan aus Baldschuhn *et al.* 2001, rechts als Raumfläche des 3D-Modells mit 5-facher Überhöhung



Quelle: LBEG 2013 d

5.7.3.5 Zusammenfassung

Niedersachsen ist ein Land das aufgrund seiner Bergbauhistorie umfassend erkundet wurde. Für die Oberfläche stehen eine Vielzahl geologischer und Spezialkarten zur Verfügung. Der Untergrund ist durch Bohrungen an vielen Stellen erkundet und die Bohrungen sind zentral gespeichert und zugänglich. Es existiert bereits ein flächendeckendes Untergrundmodell, welches als Basis für eine unterirdische Raumplanung dienen kann.

Für eine unterirdische Raumplanung ist die Datenlage in Niedersachsen als sehr gut einzuschätzen.

5.7.4 Themenbezogene Datenportale

5.7.4.1 Allgemein

Um spezifische Metadaten bzw. Daten ortsbezogen abzurufen, gibt es internetbasierte Fachinformationssysteme. Diese können themenbezogen sein, wie z. B. das Geothermische Informationssystem (GeotIS) oder nicht themenspezifische Informationssysteme wie das Fachinformationssystem Geophysik (FIS-GP) oder das Kohlenwasserstoff-Fachinformationssystem (KW-FIS). Im Weiteren wird näher auf diese drei Informationssysteme eingegangen.

5.7.4.2 Geothermisches Informationssystem für Deutschland

Das GeotIS ist ein Geothermisches Informationssystem, welches vom Leibniz-Institut für angewandte Geophysik (LIAG) koordiniert und geleitet wird.

„Jedes Geothermieprojekt muss individuell geplant werden, da die geologischen Verhältnisse im tiefen Untergrund zu unterschiedlich sind. Um die Erfolgsaussichten einschätzen zu können, ermöglichen wir mit GeotIS einen Überblick über die verfügbaren Daten und helfen bei der Beantwortung der Frage, welche Nutzungsmöglichkeiten am Standort sinnvoll erscheinen“ Prof. Dr. Rüdiger Schulz, Projektleiter GeotIS.

Die Daten werden durch die SGD, die Freie Universität Berlin und die Geothermie Neubrandenburg GmbH geliefert. Weiterhin stellen Mitgliedsfirmen des Wirtschaftsverbandes Erdöl- und Erdgasgewinnung (W.E.G.) in großem Umfang Daten digital zur Verfügung.

Neben Daten aus Deutschland hat auch das Bureau de Recherches Géologiques de Minières Ergebnisse von 104 Bohrungen aus dem französischen Teil des Oberrheingraben zur Verfügung gestellt.

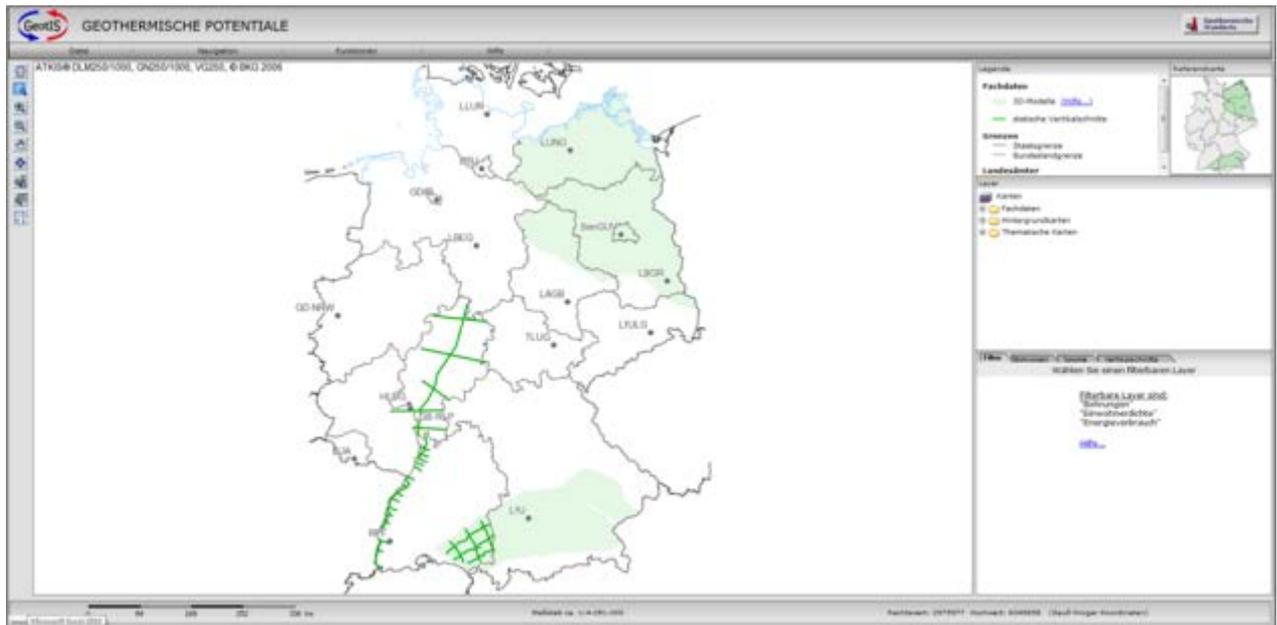
Da die Daten zunächst sehr heterogen waren, wurden diese im Rahmen der aufwändigen Datenakquise homogenisiert. Das resultierende Datenbanksystem beherbergt rund 4 Mio. Datensätze (Stand: 2011) (FIZ Karlsruhe 2011).

Für geothermische Nutzungen können mit unterschiedlichen Ausgabe- und Exportformaten individuell Fragen beantwortet werden. Vor allem relevante Informationen, wie die Teufenlage von Gesteinsschichten, gesteinsphysikalische Parameter, Temperatur und Strukturen im Untergrund können abgerufen werden. Hierfür stehen Informationen von mehr als 30.000 Tiefbohrungen zur Verfügung.

Zukünftig sollen geothermisch relevante Daten über möglichst alle Regionen in Deutschland abrufbar sein.

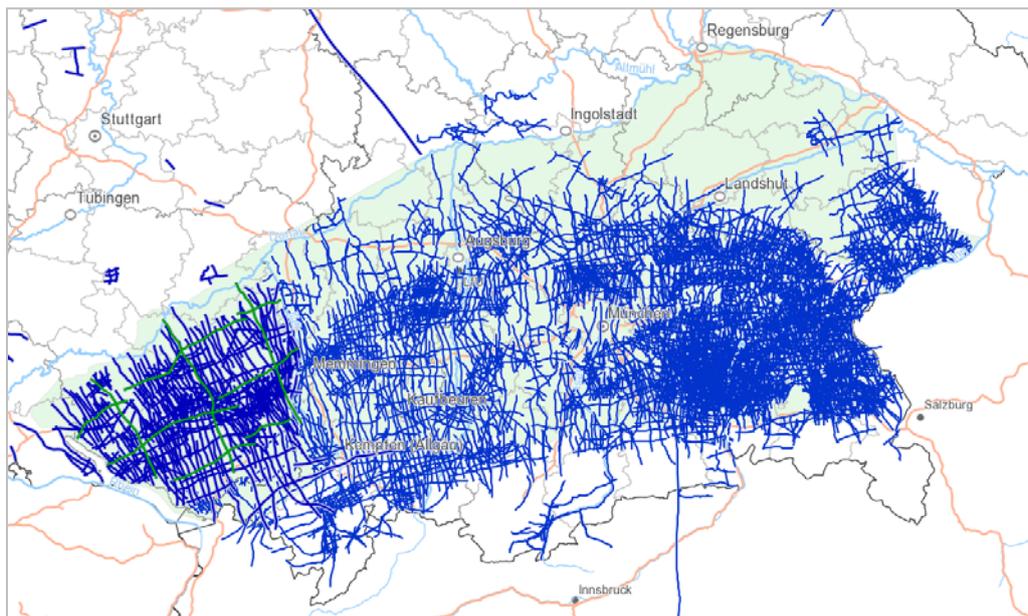
Derzeit existieren für den Nordosten Deutschlands und den Süden Aussagen zu geothermischen Potenzialen im GeotIS auf der Basis von Untergrundmodellen.

Abb. 35: Beispielhafte Ansicht des „GeotIS“ (Übersichtskarte ohne Legende)



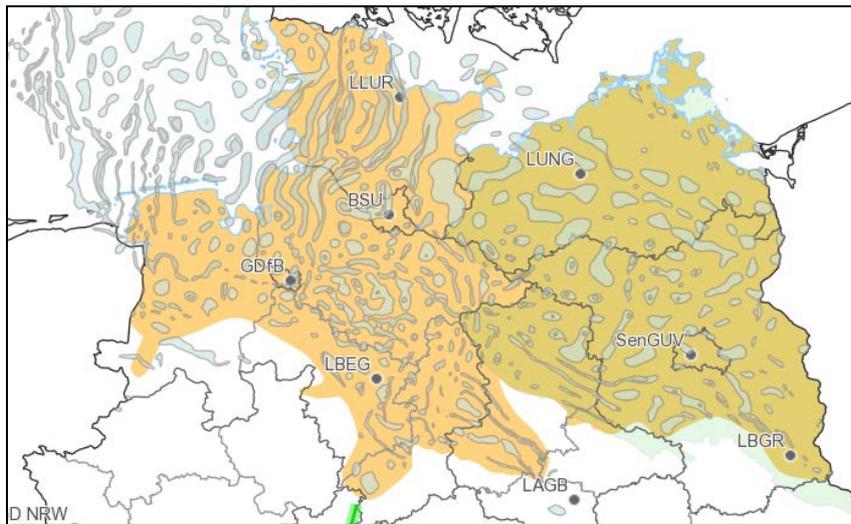
Quelle: GeotIS

Abb. 36: Lage vorhandener Seismik in Bayern hinterlegt mit der Verbreitung hydrothermaler Aquifere



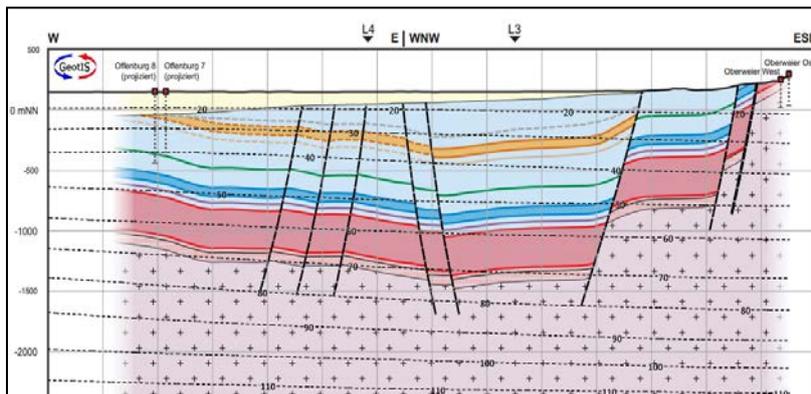
Quelle: GeotIS

Abb. 37: Hydrothermal nutzbare Bereiche unterlegt mit Salzstrukturen in Norddeutschland



Quelle: GeotIS

Abb. 38. Vertikalschnitt im Rheintalgraben



Quelle: GeotIS

5.7.4.3 Fachinformationssystem Geophysik

Das FIS-GP wurde am LIAG aufgebaut, mit dem Ziel eine flächendeckende Datenbank für Deutschland zu entwickeln. In der folgenden Tabelle sind Informationen zur vorhandenen Datenlage aufgeführt.

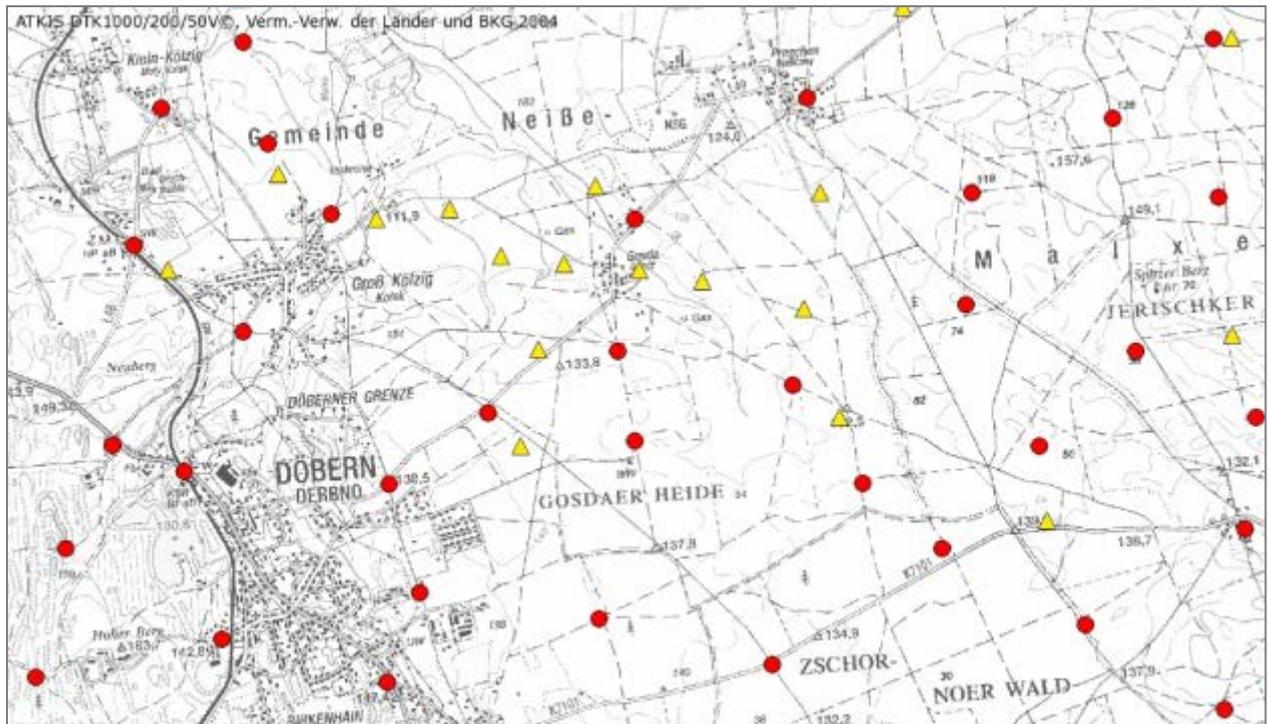
Tab. 3: Übersicht zur Datenlage im FIS-Geophysik

Messmethode	Anzahl der Vorhandenen Datensätze
Magnetik	1.4 Millionen Messpunkte, vorrangig Aeromagnetik Verteilung: deutschlandweit flächendeckend
Gravimetrie	ca. 124.000 Schweremessungen Verteilung: deutschlandweit flächendeckend
Temperaturmessung	55.000 Temperaturmessungen aus 10.000 Bohrungen und Tiefen bis 9.100 m Verteilung: deutschlandweit
Geoelektrik	ca. 22.000 Sondierungen (Schlumberger) mit max. 15 km Auslage, ca. 5.000 1-D Interpretationen Verteilung: projektbezogen
Bohrlochgeophysik	ca. 1.300 Logs aus 300 Bohrungen mit max. 70.000 Teufen Steps, 37 eingesetzte Sonden Verteilung: projektbezogen
Gesteinsphysik	Produktionsbetrieb läuft an
Seismik	im Aufbau

Quelle: LIAG 2013

Abb. 39 zeigt, dass in diesem Bereich Temperaturmessungen in der Tiefe vorgenommen wurden (gelbe Dreiecke) und flächendeckende Gravimetriemessungen vorhanden sind. Selektiert man bspw. eine der Messungen, so erhält man eine Auswahlmaske wie in Abb. 40 dargestellt. Mit der Auswahlmaske können Metadaten eingesehen und auch der Eigentümer der Datenrechte ermittelt werden. Weiterhin können Gravimetriemessungen (Abb. 41) für den Bereich abgerufen werden. Bei entsprechender Auswahl einer Messung erscheint dann das in Abb. 42 dargestellte Kennblatt mit ggf. verschlüsselten Daten.

Abb. 39: Auszug aus dem FIS-GP: Beispielhafte Darstellung der Lage von Temperaturmessungen und Gravimetriemessungen in einem ausgewählten Gebiet



Quelle: LIAG 2013

Abb. 40: Auswahlmaske im FIS-GP zur Messdaten.

LISTE DER TREFFEROBJEKTE								
Subsystem: <input type="text" value="Temperaturen"/>								
LISTE DER TREFFEROBJEKTE								
Subsystem	Objekt-ID	Objekt-Code	Objektname	Besizende Institution	TK25	Kampagne	In Datenbank	Datum
Temperaturen	10462	10788	Doeborn-10/65	GDF	4353	entfällt	entfällt	entfällt
Interessieren Sie sich für weitere Angaben zu einem speziellen Datensatz, klicken Sie bitte auf die zugehörige *ID*								

Quelle: LIAG 2013

Abb. 41: Abfrage von Gravimetriemessungen aus Abb. 39.

LISTE DER TREFFEROBJEKTE								
Subsystem: <input type="text" value="Temperaturen"/>   								
LISTE DER TREFFEROBJEKTE								
Subsystem	Objekt-ID	Objekt-Code	Objektname	Besizende Institution	TK25	Kampagne	In Datenbank	Datum
Gravimetrie	1500253	LGRBBB-GR-RVGR-4353-54(GGDL501)	Neue Bundesländer /GGD1/35060	LGRB_BB	4353	LGRBBB-RVGR-GR-GGD501	J	
Gravimetrie	1500254	LGRBBB-GR-RVGR-4353-55(GGDL501)	Neue Bundesländer /GGD1/35061	LGRB_BB	4353	LGRBBB-RVGR-GR-GGD501	J	
Gravimetrie	1500255	LGRBBB-GR-RVGR-4353-56(GGDL501)	Neue Bundesländer /GGD1/35062	LGRB_BB	4353	LGRBBB-RVGR-GR-GGD501	J	
Gravimetrie	1500265	LGRBBB-GR-RVGR-4353-66(GGDL501)	Neue Bundesländer /GGD1/35072	LGRB_BB	4353	LGRBBB-RVGR-GR-GGD501	J	
Gravimetrie	1500700	LGRBBB-GR-RVGR-4453-30(GGDL501)	Neue Bundesländer /GGD1/35507	LGRB_BB	4453	LGRBBB-RVGR-GR-GGD501	J	

Interessieren Sie sich für weitere Angaben zu einem speziellen Datensatz, klicken Sie bitte auf die zugehörige *ID*

Quelle: LIAG 2013

Darüber hinaus können die abgefragten Daten noch individuell abgerufen und, ausreichende Berechtigungen vorausgesetzt, unverschlüsselte Daten eingesehen werden (siehe Abb. 42).

Abb. 42: Auszug aus dem Datenblatt einer ausgewählten Messung

Feldname	Feldinhalt
>>> Übergeordnete Angaben <<<	
Projekt-Bez.	Gravimetrie - Regionalvermessung Boden
Kampagne-Bez.	Grav. Regionalvermessung Brandenburg
Datenbes.-Bez.	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
>>> Allgemeine Angaben <<<	
ID	1500265
Vertraulichkeit	3 - mittelmäßig vertraulich
Messung-Code	LGRBBB-GR-RVGR-4353-66(GGDL501)
Messung-Bez.	Neue Bundesländer /GGD1/35072
Datenherk.-Bez.	Landmessung
Datenqual.-Bez.	Qualität ok
Adm. Einheit	Döbern [Stadt]
Anm. zur Lage	
X-Koord.	143754.74
Y-Koord.	513644.08
TK25	4353
Höhe NN [m]	138.50
HöheNN - DGM [m]	0.64
Startdatum	
Enddatum	
Messgerät-Bez.	UNBEKANNT GRAVIMETER
Letzte Kalibrierung	
Ausf. Person	#gesperrt#
Messfahrzeug	Name des Bearbeiters von: Messung
>>> Messparameter <<<	
Absolutschwere [mGal]	#gesperrt#
>>> Ergebnisse der aktuellen Prozessierung <<<	
Akt. GRS80-Schw. [mGal]	#gesperrt#
Akt. Topo-Korr. [mGal]	#gesperrt#
Akt. Topo-Dichte [g/cm ³]	#gesperrt#
Akt. atm. Redukt. [mGal]	#gesperrt#
Akt. Niv.-Redukt. [mGal]	#gesperrt#
Akt. Boug.-Platte [mGal]	#gesperrt#
Akt. Boug.-Anom. [mGal]	#gesperrt#
Akt. Boug.-Dichte [g/cm ³]	#gesperrt#
>>> Ergebnisse der initialen Prozessierung <<<	
Init. GRS80-Schw. [mGal]	#gesperrt#
Init. Topo-Korr. [mGal]	#gesperrt#
Init. Topo-Dichte [g/cm ³]	#gesperrt#
Init. atm. Redukt. [mGal]	#gesperrt#
Init. Niv.-Redukt. [mGal]	#gesperrt#
Init. Boug.-Platte [mGal]	#gesperrt#
Init. Boug.-Anom. [mGal]	#gesperrt#
Init. Boug.-Dichte [g/cm ³]	#gesperrt#
>>> Sonstige Angaben <<<	
Publikationen	
Anmerkungen	#gesperrt#
Abspeich.-Datum	28.07.2003
Änd.-Datum	06.07.2011

Quelle: Geotis

Prinzipiell kann jeder einen Zugang zu den Bohrungsdaten erhalten. Die Nutzungsrechte sind unterschiedlich kategorisiert und werden entsprechend der Zugriffsrechte eines Nutzers angezeigt.

Stammdaten im FIS-GP sind (mit Ausnahme personenbezogener Daten) grundsätzlich für alle Benutzer einsehbar. Um sensitive Details von Messungen und Auswertungen einzusehen, sind hingegen spezielle Zugangsrechte erforderlich. Datensätze, für die keine Zugangsrechte bestehen, werden dem unautorisierten Nutzer gesperrt (erkenntlich durch eine Orange-Färbung der Spalte ID und durch den Eintrag #gesperrt# in sensitiven Datenattributen).

Bestimmte Benutzergruppen besitzen Standardrechte:

- LIAG-Mitarbeiter können alle gespeicherten Daten einsehen.
- Mitarbeiter des Geozentrums Hannover (BGR, LBEG) können alle Daten, deren Rechte beim LIAG liegen, einsehen.
- Dateninhaber können grundsätzlich ihre eigenen Daten einsehen.
- Mitarbeiter der SGD können alle Daten einsehen, die auf dem Gebiet ihres Bundeslandes liegen.
- Nicht-registrierte Gäste (Anmeldename 'Gast') haben nur Zugang zu "freien" Daten. Dabei handelt es sich z. T. um die folgenden ausgewählten Daten:
 - alle LIAG-Messungen und -Auswertungen im Stadtgebiet von Cuxhaven,
 - LIAG-1D-Geoelektrik-Messungen und -Auswertungen, die vor dem 01.01.2003 gemessen wurden,
 - LIAG-Bohrlochmessungen, die vor dem 01.01.2003 gemessen wurden,
 - die von der BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) in diversen Fluggebieten gemessene Helikoptergeophysik (Methoden EM, Magnetik und Radiometrie), soweit nicht die Rechte Dritter beeinträchtigt werden,
 - die gesteinsphysikalische Daten des Geoforschungszentrums Potsdam aus dem Messprojekt Gesteinsphysikalische Messungen im Norddeutschen Becken.
 - die 2D-Grids der Horizontalschnitte 500 m, 1.000 m, ..., 5.000 m des deutschlandweiten 3D-Modells der Untergrundtemperaturen Deutschlands; diese stammen aus dem Geothermischen Informationssystem für Deutschland (GeotIS); siehe Hauptmenüpunkt Grid-Zentrum 2D-Grids.

Die Gewährung weiterer Rechte - insbesondere für wissenschaftliche Zwecke - kann nur mit Zustimmung der LIAG-Institutsleitung bzw. der Dateninhaber erfolgen und erfordert jeweils eine individuelle Vereinbarung. Damit ist die Zustimmung des Dateneigentümers die notwendige Voraussetzung für die Verwendung dieser Daten (siehe auch Kapitel 5.5).

Zu den Daueraufgaben im FIS-GP gehört die weitere Datenerschließung, der Aufbau eines Subsystems Seismik und die Vernetzung mit Geodateninfrastrukturen. Diese Daten bilden die Voraussetzung für die Entwicklung von den für die Raumordnung notwendigen Grundlagen, d. h. den 3D-Modellen bzw. den Potenzialkarten.

5.7.4.4 Kohlenwasserstoff-Fachinformationssystem

Seit dem Jahr 2000 existiert der Verbund-Kohlenwasserstoffgeologie (KW-Verbund). Dies ist ein freiwilliger Verbund der SGD bzw. den zuständigen Ministerien auf einer vertraglichen Grundlage, siehe Abb. 43. Die Daten werden beim LBEG verwaltet.

Abb. 43: Mitglieder im KW-Verbund



Quelle: LBEG 2012

Am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover wurde das KW-FIS aufgebaut. Dieses beinhaltet Daten aus dem gesamten Bundesgebiet einschließlich Bereiche der Nord- und Ostsee. Aufgrund der großen räumlichen Ausdehnung und dem sehr vollständigen Datenbestand ist dieses System einmalig bezogen auf Daten zur Erdöl- und Erdgasindustrie (LBEG 2012).

Die Inhalte stammen aus den Datenbanken der Industriefirmen sowie aus staatlichen Archiven. In diesem System werden zwei Kategorien bzgl. der Vertraulichkeit unterschieden: Zum einen gibt es die so genannten „Nachweisdaten“, welche frei zugänglich sind und Auskunft über die Metadaten, also Ort, Betreiber und Zeitpunkt einer Kampagne geben. Zum anderen die so genannten Fachdaten, welche nur mit Einverständnis der Eigentümer zugänglich sind und z. B. Messergebnisse, Bohrlochlogs und seismische Profile enthalten.

Das KW-FIS umfasst u. a. die folgenden Bereiche:

- Bohrungen
- Bohrloch-Abweichdaten
- Seismische Bohrlochmessungen
- Reflexionsseismik 2D/3D
- Gravimetriedaten

- Öl- und Gasfelder

Die Bohrdatenbank enthält Daten von 30.000 Bohrlöchern. Dies sind Daten von Kohlenwasserstoff-Explorationsbohrungen sowie anderer Tiefbohrungen und Versenkbohrungen. Neben den Titeldaten sind auch spezielle Sachdaten gespeichert (geologisches Profil, Kernstrecken, Speichergesteine). Alle Bohrungen sind mit einer 12-stelligen Identifikationsnummer versehen, welche auch von den Industriefirmen verwendet wird. Dahingehend ist ein Datenaustausch gesichert. Weiterhin existieren zu 2.650 Bohrungen seismische Bohrlochmessungen (Geophonversenkmessungen) und Vertical Seismic Profiling Daten (LBEG 2012).

Ein Zugang zur Datenbank der Nachweisdaten kann nur über Internetrecherche realisiert werden. Im Auskunftssystem tiefer Untergrund sind die Daten der im Verbund beteiligten Länder hinterlegt. Es ist möglich, die Nachweisdaten im GIS-kompatiblen Format herunterzuladen. Zusätzlich können Dritte Fachdaten in einem Dataroom des LBEG, unter vorheriger Zustimmung des Datenbesitzers, einsehen. Da die Datenhaltung ohnehin vom LBEG realisiert wird, hat dieses vollen Zugriff. Eine Ausnahme bilden Fachdaten zu Geothermieprojekten, diese können auch ohne vorherige Erlaubnis eingesehen werden. Dies dient dazu, die Qualität und Quantität der Daten zu identifizieren. Vervielfältigungen oder fachliche Notizen sind dabei nicht gestattet (LBEG 2012).

Anlagen 3.1 bis 3.5 enthalten Übersichtskarten aus dem KW-FIS.

Die Daten des KW-FIS können eine wesentliche Grundlage für die Erarbeitung der geologischen 3D-Modelle sowie Potenzialkarten, welche ihrerseits die Voraussetzung für die unterirdische Raumplanung sind, darstellen. Dabei ist allerdings anzumerken, dass eine Teilmenge der im KW-FIS gespeicherten Daten bereits in die für die einzelnen Bundesländer vorhandenen Modelle und bzw. den vorhandenen Potenzialkarten für einzelne Nutzungen eingeflossen ist. Dies wird anhand der Ausführungen in Kapitel 5.7 deutlich.

5.8 Expertengespräche

5.8.1 Allgemein

Insgesamt wurden sechs Expertengespräche durchgeführt. Zu diesen Terminen waren z. T. mehrere Gesprächspartner anwesend, sodass die Gespräche kurz beleuchtet werden.

Das erste Expertengespräch in Sachsen wurde mit einem führenden Vertreter für Archivfragen des LfULG in Sachsen gehalten. Weiterhin wurde ein Vertreter des Sächsischen Oberbergamtes mit einbezogen, welcher mit der Archivierung von Risswerken und Daten des Berg- und Hüttenwesens befasst ist. Fallstudienbezogen wurden weiterhin vier Vertreter des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie – Niedersachsen befragt. Hier lag die Expertise der vier Gesprächspartner vornehmlich im Bereich Geodaten, Kohlenwasserstoff-Verbund sowie Untergrundmodellierung.

Am bayerischen Landesamt für Umwelt wurde ein Experte vom Fachgebiet Geothermie befragt. Weiterhin wurden drei Geodatenexperten des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik zum Fragenkatalog, insbesondere zum FIS-Geophysik und GeotIS, konsultiert.

An der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wurden zwei Experten zur Datenverfügbarkeit und Datenhaltung hinzugezogen.

Der Gesprächsleitfaden, welcher für die jeweiligen Institutionen angepasst wurde, ist in Anlage 3.6 enthalten.

5.8.2 Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen

Zu anfangs erläuterte der Gesprächspartner die Grundlagen zur Datenhaltung. Danach sind Betreiber von Erkundungen verpflichtet, Daten zu übermitteln. In Sachsen geschieht die Übermittlung per UHYDRO, einem eigens entwickelten Erfassungsprogramm des Freistaates Sachsen. Nach Eingang der Daten werden diese auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft. Nach Aussagen der Experten sind die vorhandenen Altdaten bereits zu etwa zwei Drittel digitalisiert, man geht von einer Gesamtzahl von etwa 750.000 Bohrungen allein in Sachsen aus.

Zur Datenabfrage äußerte er, dass das LfULG interaktive Karten bereitstelle. Wenn Schichtenverzeichnisse von Bohrungen vorhanden sind, dann können diese ebenfalls abgerufen werden.

Zum Schutz der Grundeigentümer werden personenbezogene Daten zurückgehalten. Hier gibt es einen Erlass des Datenschutzbevollmächtigten, dass die Erlaubnis zur Nutzung dieser Daten beim Grundeigentümer eingeholt werden muss.

In Sachsen verursachen verschiedene Gesetzgebungen Konflikte bzgl. der Datenfreigabe. Diese sind das sächsische Geodateninfrastrukturgesetz, das Datenschutzgesetz und das Umweltinformationsgesetz. Hier sei die Rechtslage der konkurrierenden Regelungen teilweise sehr verstrickt. Weiterhin hemme v. a. die Wahrung von Betriebsgeheimnissen die Datenfreigabe.

Bohrungs- und Aufschlussdaten die nicht durch Privatrechte geschützt sind, können problemlos eingeholt werden. Bei Berichten und Gutachten sei dies jedoch schwer zu realisieren. Meist erfolgt hier eine amtsinterne Übermittlung im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Der Gesprächspartner wiederholte die ausdrückliche Trennung zwischen Bohrungsdaten und Berichtsdaten.

Daten aus privaten Erkundungen von DDR-Zeiten gehören i. d. R. den Rechtsnachfolgern. Wenn es diese nicht mehr gibt, d. h. die Gesellschaft aufgelöst wurde, dann sind die Datenbestände an den Freistaat übergegangen. Hier muss jedoch in jedem Fall geprüft werden, ob Rechte des Freistaates beeinträchtigt werden.

Die Bereitstellung der Daten sei meist kostenfrei. Bei Daten, die einer Firma gehören, muss die Einigung bilateral erfolgen.

Die Frage zur Datenübermittlung beantwortete der Experte wie folgt:

„Da in Deutschland das Föderalismusprinzip gilt, sei primär Sachsen zuständig. Die BGR besitze einen Altdatenbestand vom ehemaligen Zentralen Geologischen Institut (ZGI), prinzipiell werden auch neu gefundene Altdaten hier hin übermittelt. Darüber hinaus geschehe keine weitere Übermittlung an die BGR oder das LIAG.

Bei geophysikalischen Daten handle es sich im überwiegenden um Altdaten. Vor allem bei dieser Art von Daten sei die Datenhaltung sehr aufwändig.

Geologische Berichte werden analog und in einer Datenbank zentral gesammelt. Analoge Berichte sind bisher nur teilweise digitalisiert. Dabei unterscheide man zwischen freien

und geschützten Daten, so der Experte. Auf geschützte Daten haben Dritte keinen Zugriff, diese erscheinen auch nicht in einer Suchfunktion.

Sächsische Behörden haben Zugang zu allen Daten, dies gelte auch im Fall einer unterirdischen Raumplanung. Hier könne man Daten verwenden aber nicht direkt publizieren. Auch die Wismut habe einen beträchtlichen Datenbestand, die Dokumentationen liegen aber gänzlich bei der Wismut. Daten müssten i. d. R. gekauft werden.“

Bei der Nachfrage nach aktuellen Kartengrundlagen bzw. Entwicklungen verwies der Experte auf die derzeit laufenden 3D-Modellierungen. Vor allem das Projekt der Hydrologischen Kartierung HYK50 sei sehr umfangreich, daraus werde der Geothermieatlas Sachsen abgeleitet.

Problematisch sei der Umgang mit Altdaten, vor allem bei analogen Daten seien unterschiedliche Archivstrukturen vorhanden. Die aus verschiedenen Archiven entstandene Sammlung müsse noch umfangreich vereinheitlicht werden.

5.8.3 Sächsisches Oberbergamt (SOBA)

Der Vertreter des Bergamtes führte aus, dass grundsätzlich alle Risswerke ab 1945 im Oberbergamt gehalten werden. Mit den Verwaltungsreformen seien jedoch nicht alle Daten übermittelt worden. Die Art der Daten sei grundsätzlich analog. Es gebe eine interne Datenbank, welche die Daten zu den Risswerken und Daten zu den Schächten beinhalte.

Wenn Bergwerke aus der Bergaufsicht nach BBergG entlassen werden, werden alle Daten an das SOBA übermittelt. Die Entlassung aus der Bergaufsicht sei jedoch teilweise langwierig. In jedem Fall sind Kopien der Unterlagen vorhanden. Die überwiegend analogen Daten umfassen ca. 15.000 Risswerke und etwa 15.000 Karten.

Daten können über das Bergamt recherchiert werden, wobei aber nicht direkt auf die Datenbank zugegriffen werden kann. Diese Recherchen müssen i. d. R. in Auftrag gegeben werden.

Langfristig solle alles digitalisiert werden. In der Regel liefern Bergwerksbetreiber aller 2 - 3 Jahre überarbeitete Risswerke.

Eine pauschale Abfrage nach Daten sei jedoch nicht möglich, bspw. wo Schächte tiefer als 100 m sind. Hier müsse messtischblattbezogen recherchiert werden. Geologische Daten werden zwar mit bereitgestellt, seien aber nur im Zusammenhang mit einer geologischen Untersuchung nutzbar.

Auf die Frage ob Daten übermittelt werden, antwortete der Vertreter, dass an das LIAG oder die BGR keine ständige Übermittlung erfolge. Die Datenhaltung liege nach dem Föderalismusprinzip vorrangig bei Sachsen. Eine Zusammenarbeit mit dem Bergarchiv sei jedoch essentiell, um den Gesamtzusammenhang der Untergrundinformationen darzustellen. Teile der Unterlagen sind als Microfiche im Bergarchiv gespeichert. Anhand der Messtischblätter könne bspw. gezielt nach tiefem Bergbau gesucht werden.

Hohlraumkarten (ehemals Hohlraumverdachtskarten) geben genaue Auskunft über Gebiete mit unterirdischen Hohlräumen, eine gezielte grundstücksbezogene Auskunft kann jedoch erst durch eine Abfrage beim SOBA geleistet werden. Hier werde beispielsweise

ein Puffer von 50 m um Gebiete einkalkuliert, da der bergbauliche Einflussbereich mit eingerechnet werde.

5.8.4 Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie – Niedersachsen

Zu Beginn des Interviews wurden einleitend einige Publikationen der geologischen Dienste zum Thema der unterirdischen Raumordnung vorgestellt. Für eine fachbezogene unterirdische Raumordnung sei ein geeignetes geologisches Modell notwendig. So ein Modell wäre mit der derzeitigen Datenbasis nur sehr großmaßstäblich möglich. Grundsätzlich gäbe es keine Nutzungen die sich gegenseitig ausschließen. Es sei zwar politisch gewollt, dass fachliche Entscheidungen gefällt werden, dies sei aber nicht bzw. nur im Einzelfall möglich.

Für eine Raumordnung sei auch die Existenz alter Konzessionen von Bedeutung, da diese teilweise nicht zeitlich begrenzt sind.

Ein weiterer Vertreter hielt eine Präsentation zum KW-FIS des LBEG. Hier seien Nachweisdaten (Metadaten) von vorhandenen Daten online frei verfügbar. Dies betrifft die beteiligten Bundesländer Niedersachsen, Hamburg, Bremen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Hessen, Bayern und Rheinland-Pfalz. Daten von anderen Bundesländern sind teilweise vorhanden, aber nicht online verfügbar.

Fachdaten können beim LBEG nach vorheriger Zustimmung der Eigentümer angeschaut/kopiert/bezogen werden. Ausnahme sind Fachdaten für Geothermieprojekte, die ohne ausdrückliche Zustimmung der Eigentümer eingesehen werden können.

Die Daten werden nach dem Lagerstättengesetz an die SGD bzw. nach Bundesberggesetz an die Bergbehörden weitergegeben. Alle anderen Institutionen (auch UBA, BGR, LIAG) gelten als „Dritte“ und können die Daten nur auf privatrechtlicher Basis direkt vom Eigentümer erlangen.

In der weiteren Diskussion zur Datenlage vertraten die Experten die Ansicht, dass die entsprechenden gesetzlichen Regelungen einer Überarbeitung bedürfen, sodass beispielsweise Fachdaten nach einer gewissen Zeit gemeinfrei würden. Im Allgemeinen werden nur Primärdaten gelagert, in entsprechenden Abschlussberichten bzw. in speziell, projektbezogen einzeln abgefragten Berichten können auch interpretierte Daten vorhanden sein. An die Behörden weitergegebene Daten unterliegen der Geheimhaltungspflicht.

Weiterhin wurde in einer Präsentation das 3D-Modell des niedersächsischen Untergrundes vorgestellt. Das 3D-Modell wurde in GOCAD erstellt und beruht auf dem frei verfügbaren geotektonischen Atlas von Norddeutschland, der bis 1993 gepflegt wurde. Das Modell beruht auf der Digitalisierung der im o. g. Atlas vorhandenen Basisflächen von bis zu 14 lithologischen Einheiten. Das Quartär wurde nicht differenziert. Fehler und Inkonsistenzen aus der Digitalisierung wurden aus Zeit- und Personalmangel nicht behoben.

Mit dem Modell können online Schnitte und Pseudo-Bohrprofile erstellt werden. Die GOCAD-Dateien sind beim Landesamt frei verfügbar, sie können als TK100 Blattsnitte auch als 3D-pdf heruntergeladen werden.

Weiterhin wurde aufgezeigt, dass Begriffe wie „Maßstab“ oder „Auflösung“ im 3D-Raum nicht eindeutig definiert sind.

Das LBEG holt für die meisten Veröffentlichungen die Zustimmung der Eigentümer der Eingangsdaten ein. Dies sei aber bei rein lithologischen Daten oder entsprechend großmaßstäblichen Darstellungen meist kein Problem.

Anmerkung der Autoren: Hierin ist ein möglicher Lösungsansatz für den Konflikt Privateigentum an Daten auf der einen Seite und Notwendigkeit der Daten als Grundlage für die unterirdische Raumplanung auf der anderen Seite sichtbar: Wenn die für die unterirdische Raumplanung notwendigen Modelle und Potenzialkarten mit entsprechend geringerer Auflösung (keine für Projekte notwendigen Primärdaten sollten ablesbar sein) angefertigt werden, sollte eine Zustimmung der Dateneigentümer in der Regel möglich sein. Da sich eine Vielzahl der für diese Modelle notwendigen Daten im Besitz von einigen wenigen Firmen im Bereich Erdöl und Erdgas befindet, sollten entsprechende Zustimmungen auch praktisch einholbar sein.

5.8.5 Landesamt für Umwelt – Bayern

Das Gespräch am bayerischen Landesamt für Umwelt wurde mit einem Experten für geothermische Nutzungen durchgeführt.

Der Befragte erläuterte zu Beginn, dass Daten auf Grundlage des Lagerstättengesetzes übergeben werden. Als Orientierung diene das Merkblatt des LBEG. Es sei meist kein Problem Daten von Mitgliedern des KW-Verbundes zu erhalten. Wiederum gäbe es größere Probleme, Daten von anderen Firmen zu erhalten, da es hier keine wirksame **Gebührenordnung** gibt.

Datenquellen für eine unterirdische Raumplanung sind die KW-Datenbank, das BIS (Bodeninformationssystem) und das Info-WAS (Informationssystem Wasserwirtschaft). Bei letzterem werden Daten auch in das BIS überführt.

Die meisten Datensätze sind für Bohrungen > 100 m vorhanden. Weniger Daten liegen über flache Bohrungen vor. Weiterhin müssen sekundäre Daten nach Lagerstättengesetz nicht abgegeben werden und liegen daher meist nicht aggregiert vor, da sie in Form von Abschlussberichten vorliegen. Die Nutzung dieser Daten sei Verhandlungssache.

Zur 3D-Untergrundmodellierung laufen derzeit im Rahmen des Projekts GeoMol Kartierungen der Bayerischen Molasse und des Po-Beckens (Italien). Das GoCAD-Modell für den gesamten Untergrund ist erst in Teilen fertig.

Das Speicherkataster der BGR hält der Experte fachlich für den Raum Bayern oft unzutreffend. Eine Gasspeicherung sei in Bayern kaum möglich. Es gäbe nur 3 bewilligte Projekte, von denen nur ein Standort detailliert untersucht wurde (Aussage beim Experteninterview, nach eigenem Erkenntnisstand handelt es sich um 6 Standorte). Für den Kohlenwasserstoffabbau gibt es Themenkarten beim LBEG, rohstoffgeologische Karten seien nur in Teilen verfügbar.

Der Experte sagte, dass die für eine unterirdische Raumplanung notwendige Datenbasis nur punktuell vorhanden sei und dass ein Untergrundmodell notwendig wäre, welches derzeit jedoch nicht existiere.

5.8.6 Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik

Zum Expertengespräch am Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) waren drei Experten zu Geoinformationsdiensten anwesend. Zu Beginn wurde die Position des LIAG

erläutert, hier werde Forschung im Untergrund vertreten, welche vorwiegend mit geophysikalischen Methoden durchgeführt wird.

Speziell für die Raumordnung sei das GeotIS bzw. der CCS/Geothermie Atlas geeignet. In Deutschland herrsche eine sehr heterogene Datenlage. Grundsätzlich sind entsprechend dem Lagerstättengesetz ausgewählte grundsätzliche Informationen bei den SGD vorhanden. Diese müssen gemäß Gesetz abgeliefert werden. Darüber hinaus haben die KW-Firmen einen erheblichen Datenfundus. Die Daten werden aber aufgrund von Eigentumsrechten geschützt. Projektbezogen werden immer wieder einzelne Datenpools gegründet, deren Information dann auch beispielsweise wieder in das FIS-GP oder das GeotIS einfließen. Dabei werden aber keine Originaldaten weiter gegeben. Recherchemöglichkeiten sind über die jeweiligen Internetportale vorhanden. Hier gibt es Zugänge mit unterschiedlichen Datenfreigaben.

Vor 1990 war die Datenspeicherung in Hannover Gemeinschaftsaufgabe der Länder, die durch ein Abkommen geregelt war. Im Vergleich zur ehemaligen DDR gab es keine zentrale Datensammlung. Die heutige Teilaggregation von Daten geschehe auf freiwilliger Basis im Rahmen bilateraler Abkommen. Vor allem am LIAG werden themenspezifische Daten aufgearbeitet und gesammelt.

Im FIS-GP sind vornehmlich Daten aus Deutschland sowie einigen europäischen Nachbarländern vorhanden. Dazu zählen Daten u. a. der Seismik, Bohrlochgeophysik, Magnetik, Temperaturfeld, Gesteinsphysik, die größten Bereiche sind hier Gravimetrie, Magnetik und Temperaturdaten. Es werden Messdaten und prozessierte Messdaten bereitgestellt. In das FIS-GP sind Daten verschiedener Eigentümer mit eingeflossen, u. a. von Firmen sowie Erdöl-Erdgas Verbänden.

Zukünftig werde das LIAG vermehrt Datenhaltungsaufgaben für die BGR übernehmen, da dort keine entsprechende Infrastruktur vorhanden sei. Dafür lege aber noch kein gesetzlicher Auftrag vor. Die Daten sind auf wenige Lokalitäten begrenzt.

Im Rahmen der unterirdischen Raumplanung gäbe es keine Kompetenz Daten privater Eigentümer zu nutzen. Generell könne gesagt werden, je tiefer der Untergrund desto weniger Daten sind vorhanden und desto ungenauer werden die Aussagen. Trotz Daten bleibe aber die Frage der Interpretation der Daten für die unterirdische Raumplanung weiter offen. Diese müsse man entsprechend aggregieren und auswerten, um eine einheitliche Datengrundlage zu schaffen.

5.8.7 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Das Gespräch wurde mit zwei Vertretern der BGR durchgeführt. Ein Vertreter ist dem Bereich der Nutzung des Untergrundes zuzuordnen und ein weiterer Vertreter für Belange des Archivs.

Der Vertreter für Untergrundnutzung führte in das Thema ein und erläuterte, dass Daten projektbezogen immer wieder neu und unter speziellen Blickwinkeln aufgearbeitet werden. Besonders die SGD haben auf dem Landesgebiet ein vertieftes Wissen, da man hier kleinräumig agiere. Die BGR nutzt Daten von Firmen und Institutionen aber immer im Einvernehmen mit den Inhabern der Datenrechte. Hierbei könne man die Daten zwar nutzen, aber nicht weitergeben. In Bezug auf Datenrechte ist die BGR dritten Nutzern gleich gestellt. Laut Gesetz besteht kein konkreter Auftrag zur Übermittlung und Samm-

lung von Daten. Insbesondere kommunizieren die Kohlenwasserstofffirmen untereinander, im KW-Verbund werden Informationen ausgetauscht.

Der Experte für das Archivwesen erläuterte, dass im wissenschaftlichen Archiv die Ergebnisse in Berichtsform – analog aggregiert sind. Diese bestehen aus Berichten, Schichtenverzeichnissen und Bohrprofilen. Originaldaten seien nur in dem Umfang enthalten, wie diese in den Berichten angehängt sind. Insgesamt ist das Archiv eine Sammlung interpretierter Ergebnisse. Weiterhin hat die BGR intern einen Datenfundus an selbst erhobenen Daten, diese werden aber nicht zentral gespeichert, sondern in den einzelnen Fachbereichen verwaltet. Eine zentrale Datenhaltung gibt es nicht.

Ältere Originaldaten sind analog gespeichert und können eingesehen werden. Generell gibt es unterschiedliche Sensitivitätsstufen zum Datenzugriff. Mittels Onlinerecherche im OPAC können Metadaten der Berichte abgefragt werden. Berichte werden fallspezifisch frei gegeben. Dies gelte ebenfalls für die durch das BGR erhobenen Daten, welche projektbezogen frei gegeben und aufgearbeitet werden. Verwendete Daten der Kohlenwasserstoff-Firmen werden nur nach Zustimmung durch die Unternehmen frei gegeben.

Generell arbeite die BGR an Übersichtskarten der Länder mit, hier ab Maßstab 1 : 250.000.

Längerfristiges Ziel sei es, die Untergrundmodelle Deutschlands zu vereinheitlichen und zu einem gesamtdeutschen Modell zusammenzupassen. Dies sei eine Grundlage für eine unterirdische Raumplanung. Jedoch müsse ein sehr hoher Detaillierungsgrad erreicht werden für genaue Zuweisungen. Die unterirdische Raumplanung müsse Strukturen betrachten, da die jeweiligen Nutzungen an diese gebunden sind. Je tiefer der Untergrund ist, desto ungenauer werden die Daten. Im Rahmen des Kohlenstoffdioxidspeichergesetzes (KSpG), insbesondere § 5 KSpG werde die Möglichkeit gesehen durch eine Potenzialanalyse eine Neubewertung des Untergrundes vorzunehmen. Hierfür könnten Daten der Länder abgefragt werden, auch mit Blick auf ein gesamtdeutsches Untergrundmodell. Die Experten sehen die unterirdische Raumplanung in jedem Fall vorrangig als Aufgabe der Länder.

6 Darstellung im 3D-Raum

6.1 Einleitung

Nachdem im letzten Abschnitt die Verfügbarkeit der Geodaten diskutiert wurde, ist das Ziel des vorliegenden Abschnitts die Diskussion der Visualisierungsmöglichkeiten dieser Geodaten im 2D- und 3D-Raum. Insbesondere soll eine exemplarische Darstellung und Visualisierung von Nutzungsoptionen zur Verdeutlichung von Mehrfachnutzungen in vertikaler und / oder horizontaler Richtung erfolgen.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erarbeitet, sind unterirdische Nutzungen in der Regel an bestimmte geologische Strukturen gebunden. Diese Strukturen, zusammen mit einem geeigneten und von der Nutzung abhängigen Puffer, bilden den Nutzungsraum. Dieser Nutzungsraum ist demnach ein definiertes dreidimensionales Volumen innerhalb des Untergrundes. Für die Raumplanung besteht das Ziel darin, dieses Volumen bzw. mehrere solche Volumina für unterschiedliche Nutzungen sowie Nutzungen an der Erdoberfläche in geeigneter Weise darzustellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Raumplanung im dreidimensionalen Raum nach dem heutigen Stand der Technik auch mit Hilfe von 3D-Software erfolgen sollte. Eine derartige Software besitzt eine Vielzahl von Hilfsmitteln, um die gegenseitige Lage von dreidimensionalen Körpern oder Volumen bzw. deren Lage zur Erdoberfläche räumlich zu veranschaulichen. Die Darstellung im vorliegenden Bericht kann nur Kompromiss sein, da hier lediglich 2D-Bilder (Screenshots) dargestellt werden können.

Hierbei ist zu beachten, dass die Nutzungsräume selbst vom geologischen Fachexperten ebenfalls im 3D-Raum anhand der verfügbaren Geodaten im 3D-Raum erarbeitet und an den Raumplaner übergeben werden. Diese Geodaten im Sinne von Primärdaten sind für den Raumplaner nicht relevant. Hierbei ist sicherlich ein Kompromiss notwendig. Je detailliertere Daten verwendet werden, desto genauer sind die Modelle und die Aussagen zur Machbarkeit einer Nutzung. Auf der anderen Seite steigt der Aufwand der Datenbearbeitung und Interpretation erheblich. Zudem können im Privatbesitz befindliche Daten nur eingeschränkt benutzt werden. Um das Maß an Detailliertheit der Daten zu bestimmen, besteht somit weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Exemplarisch werden für die Erläuterung der Visualisierung Daten und Modelle aus Sachsen und aus Niedersachsen vorgestellt. Für beide Bundesländer sind dreidimensionale Modelle des Untergrundes verfügbar. In Niedersachsen steht das 3D-Modell des geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland zur Verfügung. Dieses Modell stellt wesentliche geologische Strukturen und Einheiten dar und ist damit als Beispiel gut geeignet. Für Sachsen stehen Modelle aus der hydrogeologischen Spezialkartierung im Maßstab 1 : 50.000 zur Verfügung. Hier wurden teilweise geologische Einheiten zu sogenannten hydrogeologischen Körpern zusammengefasst. Dies ist aber aufgrund der hohen Auflösung des Modells ohne Belang für die Fragestellungen in diesem Bericht.

6.2 Darstellungsarten

6.2.1 Definition von Nutzungsräumen im dreidimensionalen Raum

Ein Nutzungsraum wird im 3D-Raum durch Volumen bzw. Körper definiert, die ihrerseits durch die Punkte auf ihren Begrenzungsflächen definiert werden. Diese Punkte können z. B. durch kartesische Koordinaten oder durch spezielle Bildungsvorschriften definiert sein. Bei Körpern mit unregelmäßiger Oberfläche sind eventuell sehr viele Punkte nötig um diesen genau zu beschreiben.

Eine einfache Methode besteht darin, den angestrebten Nutzungsraum mit einem Quader zu umgeben. Hierfür müssen nur 8 Punkte im Raum definiert werden. Der Nachteil besteht darin, dass das so definierte Volumen erheblich größer sein kann, als der eigentlich genutzte Bereich. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die genutzte Struktur eine stark irreguläre Form hat.

Sehr komplexe Volumen ergeben sich, wenn man beispielsweise zunächst ein genaues dreidimensionales Abbild der genutzten Struktur erstellt und dieses mit einem definierten Puffer umhüllt. Hierbei wird das genutzte Volumen sehr genau beschrieben, dafür müssen erheblich mehr Daten verwaltet und dargestellt werden.

Zwischen diesen beiden Varianten sind viele weitere Methoden denkbar, mit denen mehr oder minder komplexe Definitionen der Nutzungsräume möglich sind.

6.2.2 Erstellung und Speicherung von Körpern im 3D-Raum

Bevor ein dreidimensionaler Nutzungsraum visualisiert werden kann, muss er innerhalb einer geeigneten Software erarbeitet und gespeichert werden. Die Erarbeitung erfolgt durch den geologischen Fachexperten in einer entsprechenden Spezialsoftware. Beispiele hierfür sind Surpac Vision[®], goCad[®], Rockworks[®] oder Petrel[®]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die Raumplanung keine detaillierten 3D-Eigenschaftsmodelle (bspw. Lagerstättenmodelle) sondern lediglich Nutzungsräume als dreidimensionale Körper erarbeitet werden müssen. Der Unterschied besteht darin das in einem 3D-Eigenschaftsmodell auch die räumlich variablen Verteilungen von Eigenschaften (Permeabilität, Feststoffgehalte, Gehalte unterschiedlicher Fluide, Temperaturen, etc.) enthalten sein müssen. Diese räumliche Verteilung der Eigenschaften wird häufig mit sogenannten Blockmodellen (der Raum wird in einer Vielzahl kleiner Quader zerlegt) durchgeführt. Für die Raumplanung ist die räumliche Verteilung der Eigenschaften nicht notwendig. Vielmehr ist es ausreichend, Mittelwerte für die jeweiligen Eigenschaften anzugeben.

Vom geologischen Fachexperten werden die sogenannten potenziellen Nutzungsräume für jede mögliche Nutzung erarbeitet und an den Raumplaner übergeben. Diese können teilweise identisch sein oder sich teilweise durchdringen bzw. überlappen. Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, sollten diese potenziellen Nutzungsräume neben ihrer räumlichen Lage auch Informationen zur Quantifizierung von Nutzungen (die o. g. mittleren Parameter) enthalten. Diese werden in einer Datenbank gespeichert.

Damit werden dem Raumplaner die potenziellen Nutzungsräume für die unterschiedlichen Nutzungen in Form von 3D-Körpern übergeben. Der Raumplaner muss nun im Rahmen des Abwägungsprozesses die Prioritäten der Raumnutzung festlegen. Im Ergebnis wird von ihm der unterirdische Raum mit Nutzungsräumen belegt, die sich nun nicht

mehr durchdringen dürfen. Dazu kann es notwendig sein, dass die potenziellen Nutzungsräume für unterschiedliche Nutzungen miteinander verschnitten werden. Dazu muss der Raumplaner ebenfalls mit einer 3D-Software arbeiten. Zumindest sollte er die Möglichkeit haben, die Körper im 3D-Raum zu visualisieren. Eine Reihe von Softwareherstellern bieten hierzu sogenannte 3D-Explorer (nur Visualisierung möglich, kein Bearbeiten) an.

Eine ganz besondere Herausforderung stellt die Speicherung von 3D-Daten dar. Jedes der Softwareprodukte, mit denen eine 3D-geologische Modellierung durchgeführt werden kann, bietet selbstverständlich die Möglichkeit, diese Modelle vollständig, d. h. ohne Datenverlust zu speichern. Damit ist man jedoch stets an die jeweilige Spezialsoftware gebunden. Deshalb gibt es derzeit eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten und Forschungen zu einer plattformunabhängigen Speicherung von 3D-Daten.

Dafür sind klassische GIS-Anwendungen, wie beispielsweise ESRI ArcGIS nur eingeschränkt geeignet, da dieses mit 3D-Daten nicht adäquat umgehen kann. Eine Möglichkeit, die häufig angewendet wird, besteht darin, dieses Problem zu umgehen, indem man die 3D-Körper in Raster umwandelt. Raster sind regelmäßig angeordnete Punktgitter. Diese Punkte können neben ihrer X- und Y-Koordinate noch zusätzliche Daten enthalten. Für die Beschreibung einfacher Körper könnten dies beispielsweise Oberkante und Mächtigkeit sein. Es handelt sich um ein Verfahren, das zwar prinzipiell funktioniert, aber in seinen Möglichkeiten sehr eingeschränkt ist. Diese Rasterdaten (manchmal auch als Grids bezeichnet) können in einer GIS-Software bearbeitet und visualisiert werden. Ein wesentlicher Nachteil besteht darin, dass Verwerfungen und Überschiebungen und andere tektonische Elemente nur eingeschränkt oder gar nicht abgebildet werden können. Für ebene Lagerungen ohne tektonische Elemente ist diese Art der Datenspeicherung ausreichend. Für komplexere geologische Strukturen sind hier Kompromisse notwendig.

Allgemeiner sind deshalb Anwendungen, die Körper über die sie begrenzenden Flächen in Form von Dreiecken mit beliebiger Lage im Raum darstellen. Diese Form wird bei nahezu allen Anwendungen der virtuellen Realität genutzt. Entweder es werden die Dreiecke explizit gespeichert oder aber lediglich die Punkte, die den 3D-Körper definieren, und die Regeln, nach denen die Punkte miteinander verbunden sind. Mit der Speicherung der Begrenzungsflächen sind keine Einschränkungen hinsichtlich der Komplexität der geologischen Körper vorhanden und es können beliebig komplexe Körper abgebildet und gespeichert werden. Hierbei handelt es sich um die Speicherung von Vektordaten. Darüber hinaus können sie auch relativ einfach miteinander oder mit anderen vorhandenen Daten in Beziehung gebracht werden. Das heißt, diese Körper lassen sich innerhalb von geologischen Modellen, Störungsmodellen oder sonstiger dreidimensionaler Daten darstellen. Für diese Vektordaten gibt es noch keine allgemein anerkannte bzw. standardisierte Möglichkeit der plattformunabhängigen Speicherung.

Mit allen genannten Methoden ist es möglich, Abfragen zum Volumen, Schnittflächen zu geologischen Körpern oder zu Durchdringungen mit anderen Nutzungsräumen durchzuführen.

Es ist prinzipiell möglich, Nutzungsräume auf zwei Weisen zu visualisieren, zweidimensional und dreidimensional.

6.2.3 Zweidimensionale Visualisierung

Bei einer zweidimensionalen Darstellung werden die Nutzungsräume auf eine Fläche projiziert. Diese Fläche kann beispielsweise die Erdoberfläche sein, wie es bei einer klassischen topografischen Karte der Fall ist. Darüber hinaus sind noch viele andere Projektionsflächen möglich. Dies können beispielsweise Tiefenschnitte sein (horizontale Schnitte in einer definierten Tiefe) oder Schnitte, welche einer bestimmten geologischen Struktur folgen. Ein wichtiger Sonderfall sind sogenannte geologische Schnitte, bei denen die Projektionsfläche aus einer oder mehreren üblicherweise vertikalen Flächen besteht, die auf die Blattebene projiziert werden.

Die Darstellung von räumlichen Informationen auf einer zweidimensionalen Fläche ist problembehaftet. Selbst bei einfachen Körpern werden zumindest Informationen über Oberkante und Unterkante bzw. Oberkante und Mächtigkeit (vertikale Dicke) eines Nutzungsraumes benötigt. Die Darstellung komplexer Körper ist in vielen Fällen nicht mehr möglich, ohne dass die Übersichtlichkeit erheblich leidet. Die stockwerksweise Darstellung mehrerer komplexer Nutzungsräume ist entsprechend noch problematischer. Gegebenenfalls sind für eine genaue und eindeutige Darstellung eines Körpers eine Vielzahl von Karten notwendig.

Die Durchführung einer Raumplanung anhand von Potenzialkarten ist grundsätzlich möglich. Mit dieser Vorgehensweise ist es allerdings teilweise schwierig, gegenseitige Durchdringungen von Körpern (eben von unterschiedlichen potenziellen Nutzungsräumen) insbesondere in vertikaler Richtung zu analysieren.

6.2.4 Dreidimensionale Visualisierung

In einer dreidimensionalen Darstellung werden die definierenden Punkte eines Volumens direkt in einer geeigneten 3D-Software gespeichert und können als Körper, sogenannte Solids, dargestellt werden. Als Solid bezeichnet man allseitig von Flächen begrenzte Volumen. Es ist mit einer solchen 3D-Software möglich, beliebige 3D-Elemente (Nutzungsräume, Geologische Einheiten, Störungen, Bohrungen etc.) ein- oder auszublenden, zu verschieben, zu drehen oder zu zoomen. Man kann sich auf diese Weise einen sehr guten Überblick über die Lagebeziehungen der 3D-Elemente zu einander verschaffen und gezielt bearbeiten.

Hier soll nochmals auf die Ausführungen in Abschnitt 6.2.2 hingewiesen werden. Danach ist zwischen der Erstellung von potenziellen Nutzungsräumen durch den geologischen Fachexperten und der Festlegung von Nutzungsräumen durch den Raumplaner durch Abwägung der unterschiedlichen möglichen Nutzungen gegeneinander, zu unterscheiden. Der geologische Fachexperte benötigt sämtliche verfügbaren geologischen Primärdaten, während der Raumplaner auf der Grundlage der potenziellen Nutzungsräume und der Nutzungen an der Erdoberfläche arbeiten kann.

Das Problem der dreidimensionalen Darstellung mit Hilfe einer 3D-Software besteht darin, dass eine eindeutige Visualisierung auf zweidimensionalen Medien (Bildschirm, Karten) kaum möglich ist und dreidimensionale Projektionskonzepte noch nicht zur Verfügung stehen. Das bedeutet, dass die Lagebeziehung von Körpern im 3D-Raum mit Hilfe von 3D-Software sehr detailliert geprüft und bearbeitet werden kann. Jedoch werden Abbildungen solcher 3D-Elemente in Berichten immer einen illustrativen Charakter haben.

6.3 Visualisierung von Nutzungsräumen am Beispiel Sachsen

6.3.1 Herkunft und Struktur der Daten

Gestiegene Anforderungen im Zusammenhang mit geothermischen und hydrogeologischen Nutzungen des geologischen Untergrundes und der veraltete Zustand der bestehenden hydrogeologischen Kartenwerke führten im Jahre 2001 zur Entscheidung, für den Freistaat Sachsen ein neues digitales hydrogeologisches Informationssystem zu entwickeln. Das System ist modular aufgebaut.

Die dreidimensionalen geologischen Körper bilden die geometrische Basis für alle weiteren Themen innerhalb des Produktes HyK50. Sie liefert die Raumlage geologischer und hydrogeologischer Einheiten als rasterorientierte 3D-Daten auf der Grundlage einer hydrostratigrafischen Nomenklatur mit lithologisch-petrografischer Differenzierung einschließlich des Grundgebirges (die Unterkante wurde mit -200 m NN festgelegt, sofern nicht geologische Besonderheiten eine Abweichung erfordern) in einer vergleichsweise hohen Auflösung mit folgenden Einzelinformationen:

- ii) Räumliche Begrenzung der hydrogeologischen Körper (Basisfläche, Deckfläche, Mächtigkeitsverteilung)
- jj) geogene und anthropogenen Kommunikationsbereiche innerhalb und zwischen hydrogeologischen Körpern
- kk) hydrogeologische Schnitte (abgeleitet aus dem 3D-Datenbestand)

Die Speicherung erfolgt in Form von Rasterdaten, da eine Plattformunabhängigkeit angestrebt wurde und bessere Konzepte noch nicht zur Verfügung stehen.

So ist in (LfULG, 2012) beschrieben, wie die Körper konstruiert werden: „Die Konstruktion der hydrogeologischen Körper im Modell basiert auf einer zumeist geostatistischen Interpolation von Schichtmächtigkeiten, Basisflächen und/oder Basislinien unter Verwendung des validierten Aufschlussdatenbestandes sowie unter Zuhilfenahme des gesamten analogen regionalgeologischen Kenntnisstandes (Expertenwissen). Die technische Umsetzung erfolgt mit 3D-Software-Werkzeugen (z. B. SURPAC®, goCad®, ROCKWORKS®, Petrel® u. a.). Die so genannten Solids (3D-Daten geologischer/hydrogeologischer Körper) werden anschließend in ein softwareneutrales Format gewandelt und in einer ORACLE-Datenbank gespeichert.“ Die hydrogeologische Spezialkartierung ist derzeit noch in Bearbeitung. Gegenwärtig liegen für ca. 2/3 der Fläche Sachsens fertige 3D-Untergrundmodelle vor. Als Beispiel für die Visualisierung wurden mit Zustimmung des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Daten vom Kartenblatt Meißen verwendet.

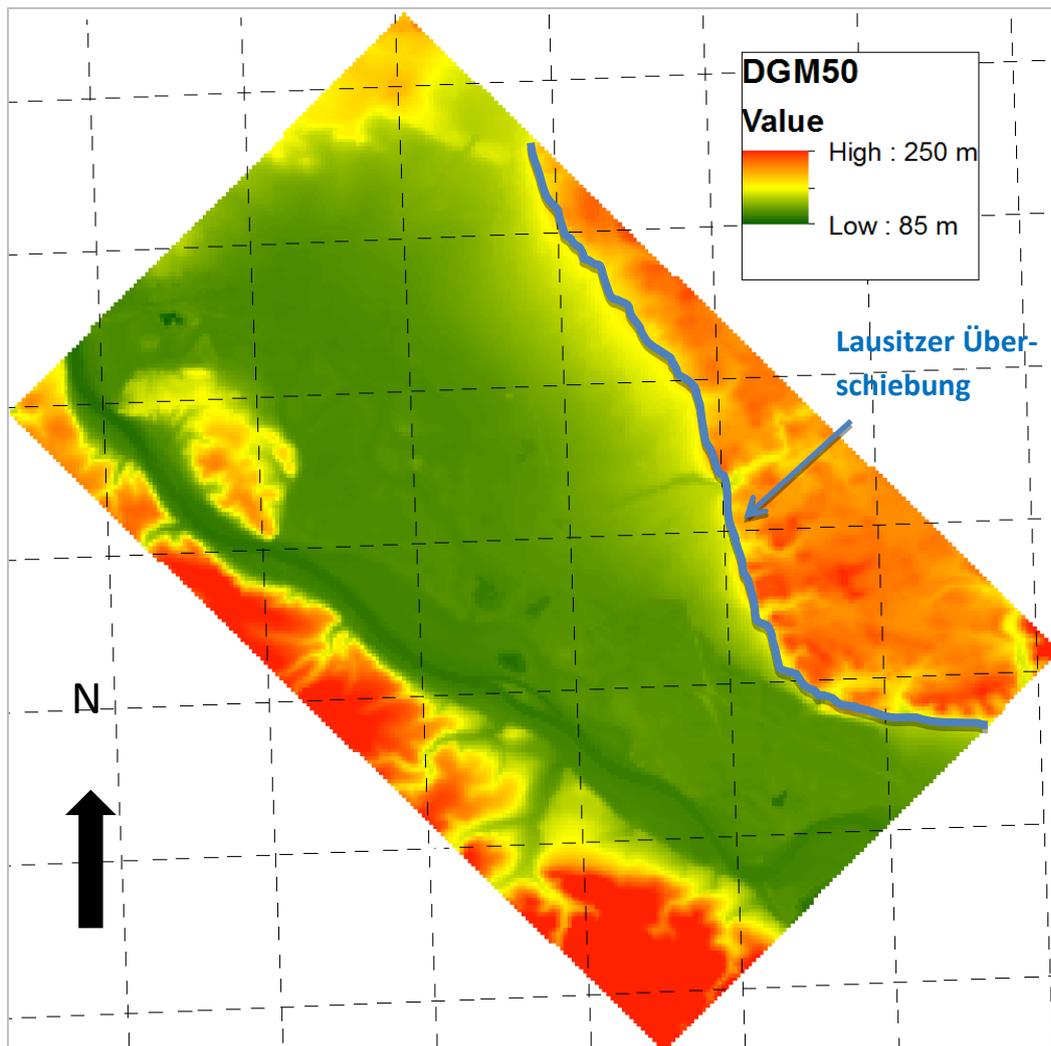
6.3.2 Aufbereitung der geologischen Datengrundlage

Die sächsische Geologie ist vor allem davon geprägt, dass das kristalline Grundgebirge in vielen Bereichen bereits in sehr geringer Tiefe vorhanden ist. Größere Sedimentbecken sind selten und nur wenige hundert Meter tief, was in Deutschland vergleichsweise flach ist.

Das Modell enthält dreidimensionale Körper von insgesamt 71 verschiedenen geologischen Einheiten. Da das Modell sehr hochauflösend ist, wird in diesem Bericht nur ein Ausschnitt des Gesamtmodells verwendet. Der ausgewählte Bereich ist aber aufgrund seiner Geologie besonders interessant. Das in diesem Bericht für sämtliche Visualisierungen

verwendete Gebiet zeigt einen Teil des Elbtals, südöstlich von Meißen mit einer Ausdehnung von etwa 7.5 * 12.0 km. Die Modellunterkante liegt bei -200 m NN. Die Geländeoberkante ist in Abb. 44 dargestellt. Das Elbtal ist hier sehr breit und von ausgedehnten grundwasserleitenden Schichten geprägt. Diese werden von mächtigen Kreideschichten unterlagert, die im Osten gegen die Lausitzer Überschiebung begrenzt werden und so ein Sedimentbecken bilden. Die Lausitzer Überschiebung ist eine wichtige geologische Struktur, bei der das kristalline Grundgebirge entlang einer NW-SE verlaufenden Störung nach oben verschoben wurde. Sie bildet damit eine sehr steilstehende Talbegrenzung.

Abb. 44: Farbgradierte Darstellung (in m NN) des digitalen Geländemodells, welches eine wesentliche Datengrundlage für das Modell darstellt. Gut zu erkennen sind die steilen Hänge, die das Tal im Südwesten und im Nordosten begrenzen. Gut zu erkennen sind die steilen Hänge, die das Tal im Südwesten und im Nordosten begrenzen.

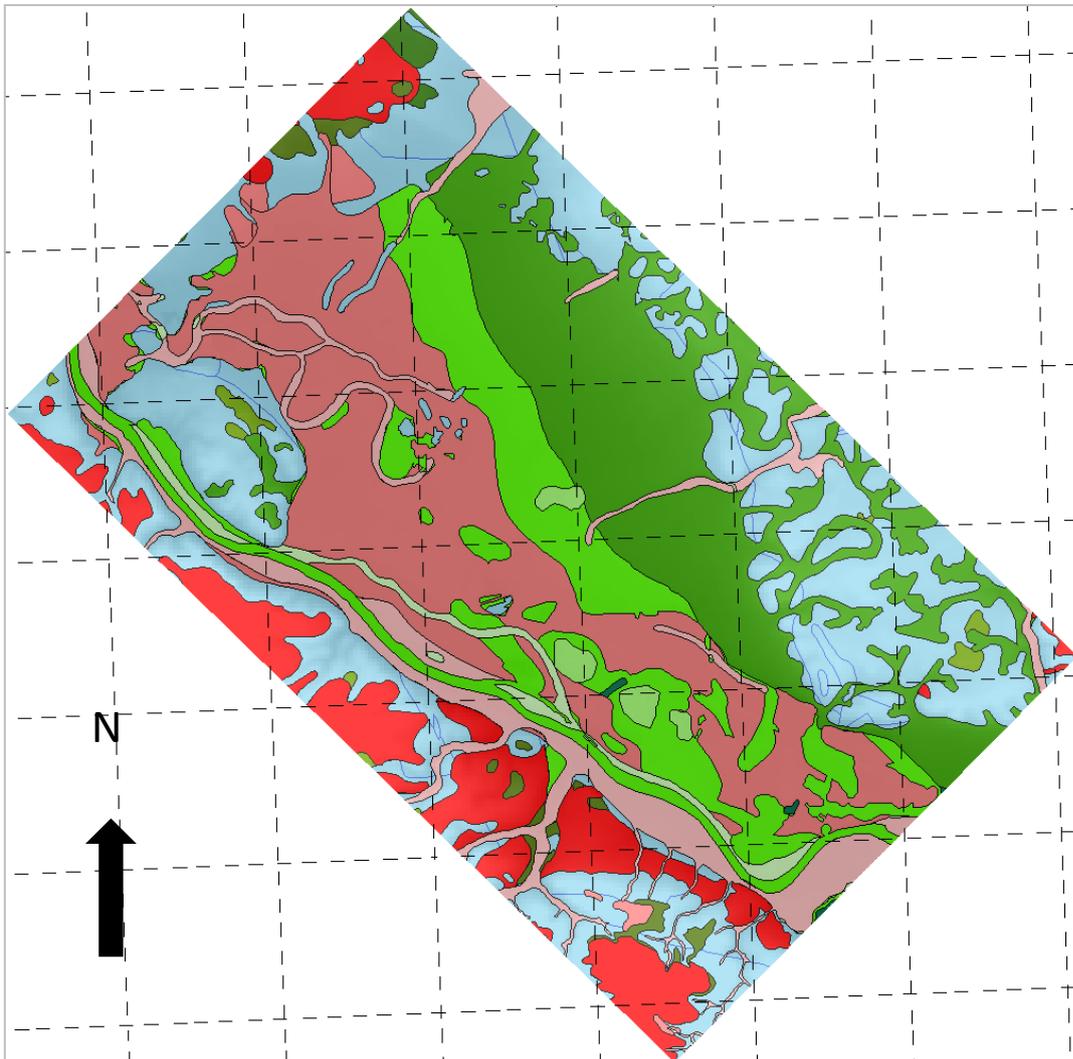


Quelle: Eigene Darstellung

Das Elbtal besteht in diesem Bereich aus mehreren wasserleitenden Körpern. Einige von ihnen umfassen nur relativ kleine Flächen von wenigen 1.000 m³ mit wenigen Metern Mächtigkeiten. Andere sind fast im gesamten Becken oberflächlich vorhanden und teilweise mehrere 10 m mächtig. In einigen Bereichen sind die wasserleitenden Körper von wasserstauenden Körpern voneinander getrennt, während in anderen Bereichen ein direkter Kontakt vorhanden ist.

Abb. 45 soll demonstrieren, wie komplex die reale Situation im Elbtal ist. Wasserleitende Schichten (10 Einheiten) wurden in verschiedenen Grüntönen eingefärbt, während wasserstauende Schichten (5 Einheiten) in verschiedenen Rottönen dargestellt werden. Das kristalline Grundgebirge (12 Einheiten) ist in blau dargestellt.

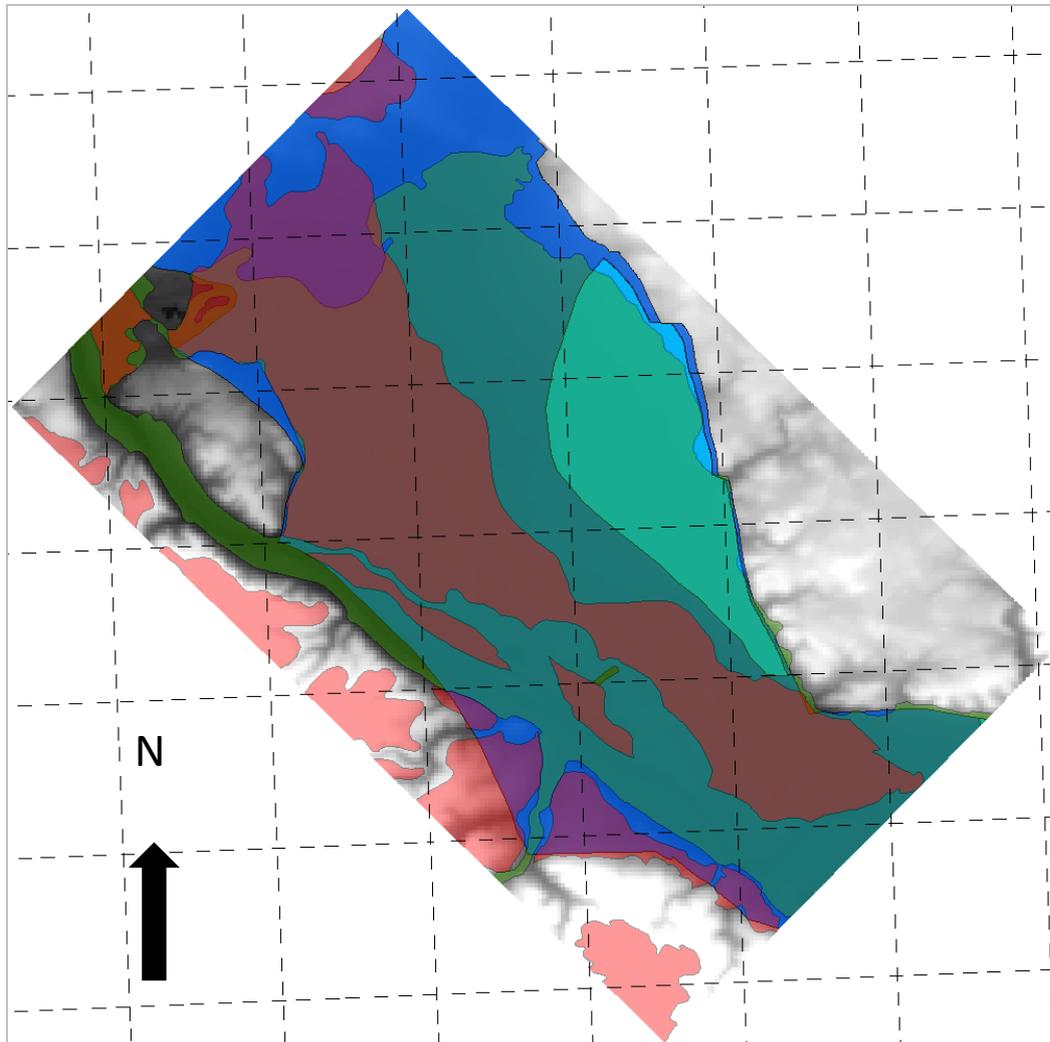
Abb. 45: Geologische Karte des Modellgebietes mit einer Darstellung der unterschiedlichen oberflächennah anstehenden geologischen Schichten des 3D-Modells des Elbtals bei Meißen. Wasserleiter sind in grün, Wasserstauer in rot und das Grundgebirge in blau dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Es ist aufgrund der Komplexität der geologischen Situation, für das Ziel dieses Berichts, nicht sinnvoll alle Körper darzustellen. Aus diesem Grund wurden wasserstauende und wasserleitende Lockergesteinseinheiten, wenn sinnvoll möglich, zu jeweils einer Schicht zusammengefasst. Darüber hinaus wurden die wichtigsten beiden Kreideschichten, die das Becken definieren, mit in das Modell aufgenommen. Die Darstellung erfolgt in Form einer thematischen geologischen Karte in Abb. 46, welche die gleichen Schichten wie Abb. 45 enthält, die jedoch teilweise zusammengefasst wurden.

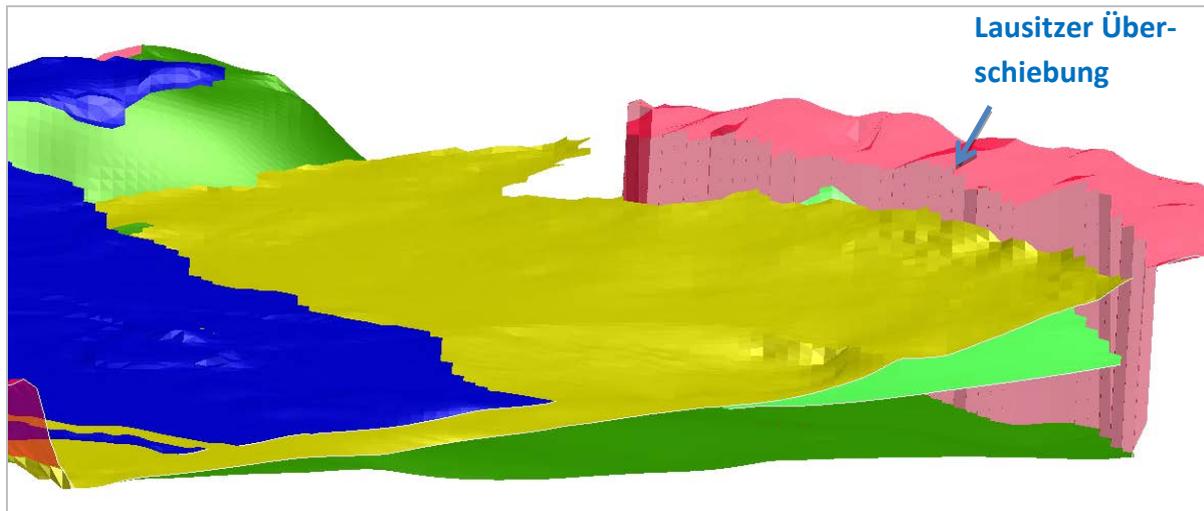
Abb. 46: Übersicht über die verwendeten Schichten des Modells in diesem Zwischenbericht. Der Grundwasserstauer wird in rot und der unterlagernde Grundwasserleiter in grün dargestellt. Die beiden wichtigsten Kreideschichten werden in verschiedenen Blautönen dargestellt



Quelle: Eigene Darstellung

Im 3D-Raum werden aus Gründen der Praktikabilität und der Übersichtlichkeit meist nur die Unterkanten eines geologischen Körpers dargestellt. Abb. 47 zeigt einen Schnitt durch das Elbtal-Modell mit den vier ausgewählten Körpern sowie der Oberkante des Festgesteins (rot). Ganz oben liegt der Grundwasserstauer (in blau), der nur in einem Teil des Modells verbreitet ist. Da nur die Schichtunterkanten abgebildet werden ist in der Darstellung leider nur schlecht zu sehen, dass seine Mächtigkeit nur wenige Meter beträgt. Darunter liegt ein Grundwasserleiter (in gelb) der im Bereich des gesamten Tals verbreitet ist. Seine Mächtigkeit beträgt bis zu 30 m. Darunter folgen die beiden Kreideschichten (grün), die beide unterhalb des Grundwasserleiters einsetzen und im Osten an der Lausitzer Überschiebung enden.

Abb. 47: Schnitt durch das 3D-Modell des Elbtals. Ganz oben befindet sich der Wasserstauer (blau), der von einem ausgedehnten Wasserleiter (gelb) unterlagert wird. Darunter folgen die beiden Kreideschichten (grün), die gegen das kristalline Grundgebirge (rot) auslaufen.



Quelle: Eigene Darstellung

6.3.3 Visualisierung von Nutzungsräumen im Modellgebiet

Für die Visualisierung der Nutzungsräume wurden zunächst vier potentielle Nutzungen definiert, die sich an den geologischen Gegebenheiten orientieren:

17. Grundwassernutzung im Grundwasserleiter (GWN), diese konkurriert im gleichen Raum mit der offenen oberflächennahen Geothermie. Darüber hinaus überschneidet sich der Nutzungsbereich mit dem Nutzungsbereich der Gasspeicherung (Punkt 2).
18. Gasspeicherung in den Bereichen in denen der Grundwasserleiter von einem Stauer bedeckt ist (GSp), diese konkurriert im gleichen Raum mit einer Soleverpressung und der generellen Grundwassernutzung in Grundwasserleiter (Punkt 1)
19. Abbau von Kohlenwasserstoffen innerhalb der Kreidesedimente (KW)
20. Konventioneller Bergbau innerhalb des kristallinen Grundgebirges (BB)

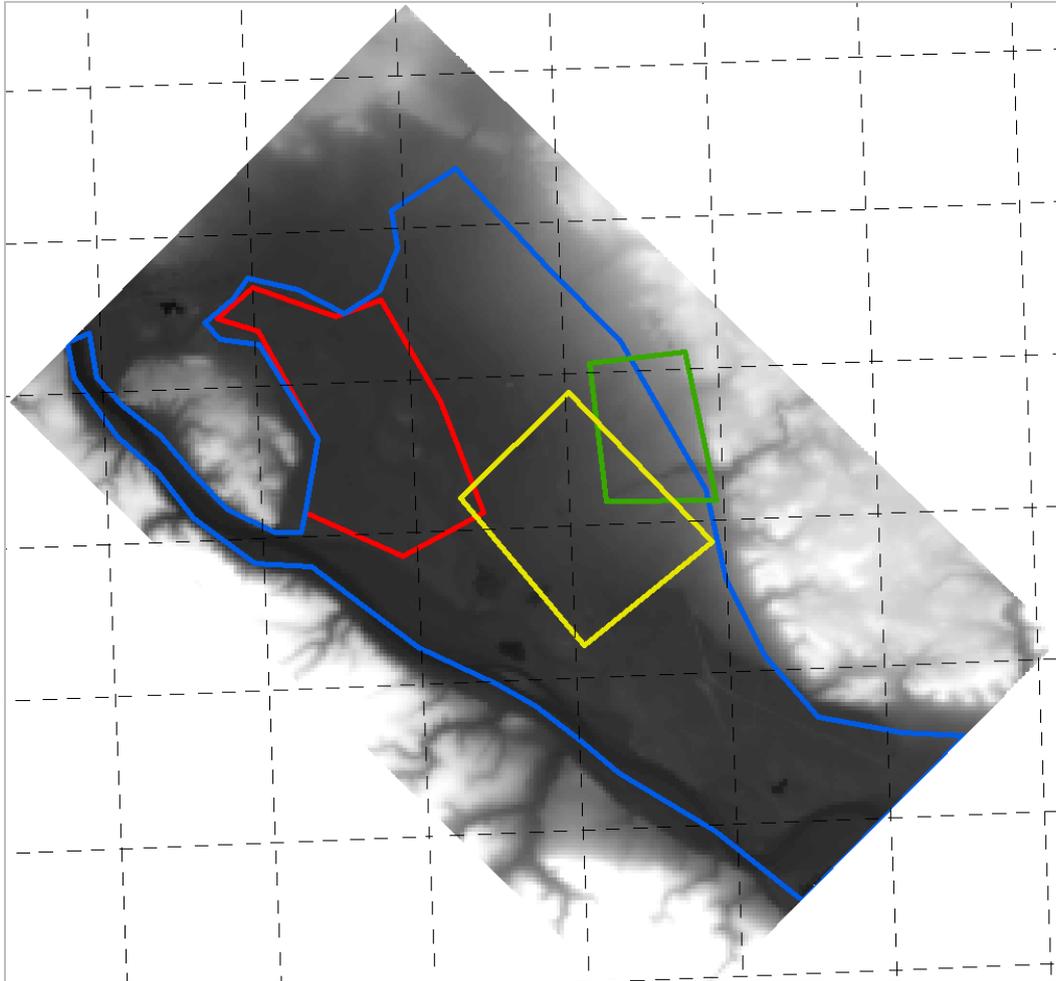
Es handelt sich um prinzipielle Darstellungen hinsichtlich der Lage von potenziellen Nutzungsräumen. Diese schließen die jeweiligen Pufferbereiche mit ein. Abb. 48 zeigt die Lage der vier potenziellen Nutzungsräume im Modellgebiet. Es wird deutlich, dass sich die potenziellen Nutzungsräume zumindest in der 2D-horizontalen Projektion gegenseitig überlappen. Als Beispiel für eine horizontale Konkurrenz und deren Visualisierung sind hier die Grundwassernutzung in einem Aquifer, und die Gasspeicherung in einem Teil desselben Aquifers abgebildet. Als vertikale Nutzungskonkurrenz werden hier der Abbau der KW und der konventionelle Bergbau gezeigt, die vertikal überlappend stattfinden.

Um die unterschiedlichen Darstellungsprinzipien zu verdeutlichen (siehe Abschnitt 6.2.1), werden komplexe Nutzungsräume (GWN und GSp) und einfache quaderförmige Nutzungsräume (KW und BB) definiert.

Der Nachteil dieser vereinfachten Definition von Nutzungsräumen besteht darin, dass der 3D-Raum nicht ausgenutzt werden kann, da die einfach strukturierten Nutzungsräume größer sein müssen, als detailliert strukturierte Räume, die sich an den Strukturen orientieren, da die Strukturen vollständig eingeschlossen werden müssen.

Unter diesem Blickwinkel und auch in Anbetracht der immer weiter verbesserten Möglichkeiten des Umgangs mit 3D-Daten schlagen wir vor, detailliert strukturierte 3D-Nutzungsräume für die Raumplanung zu verwenden.

Abb. 48: Lage der Beispielnutzungen im Modellgebiet. GWN – blau, GSp – rot, KW – grün, BB – gelb.



Quelle: Eigene Darstellung

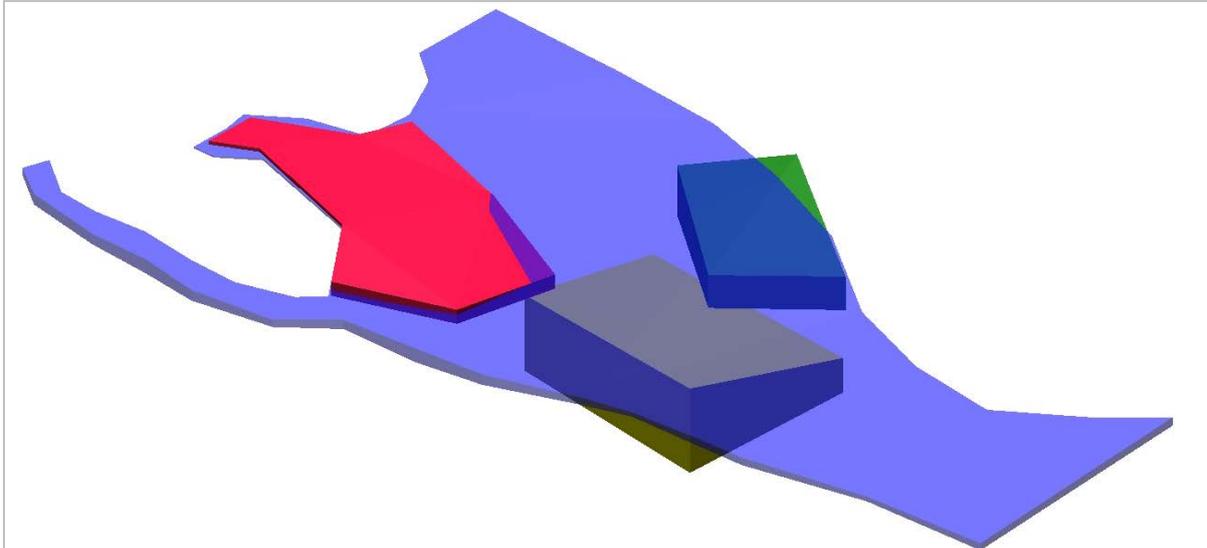
6.3.3.1 Visualisierung von Nutzungsräumen als 3D-Elemente

Abb. 49 zeigt die Lage der Beispielnutzungsräume relativ zueinander im 3D-Raum. Ohne weitere 3D-Elemente ist diese Darstellung nur schwer zu interpretieren. Daher wurden in Abb. 50 weitere geologische Elemente hinzugefügt. Auch hier leidet die Übersichtlichkeit an der Überlappung der 3D-Elemente. Diese Darstellung ermöglicht aber eine Abschätzung, ob Durchdringungen vorliegen. Darüber hinaus werden räumliche Lagebeziehungen besser sichtbar. An diesem Beispiel wird deutlich, dass sich die potenziellen Nutzungsbereiche für Gasspeicherung und Grundwassernutzung überlappen. In dieser Situation muss durch den Raumplaner im Abwägungsprozess gemeinsam mit den geologischen Experten entschieden werden, welche Nutzung zu bevorzugen ist.

Eine visuelle Darstellung von 3D-Elementen in Form von Bildern/Screenshots hat also immer einen illustrativen Charakter und ist zu Planungszwecken nur untergeordnet nutzbar. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass Maßstäbe und Koordinaten in solchen Abbildungen nicht eindeutig sind. Die eigentliche Raumplanung muss in der 3D-Software

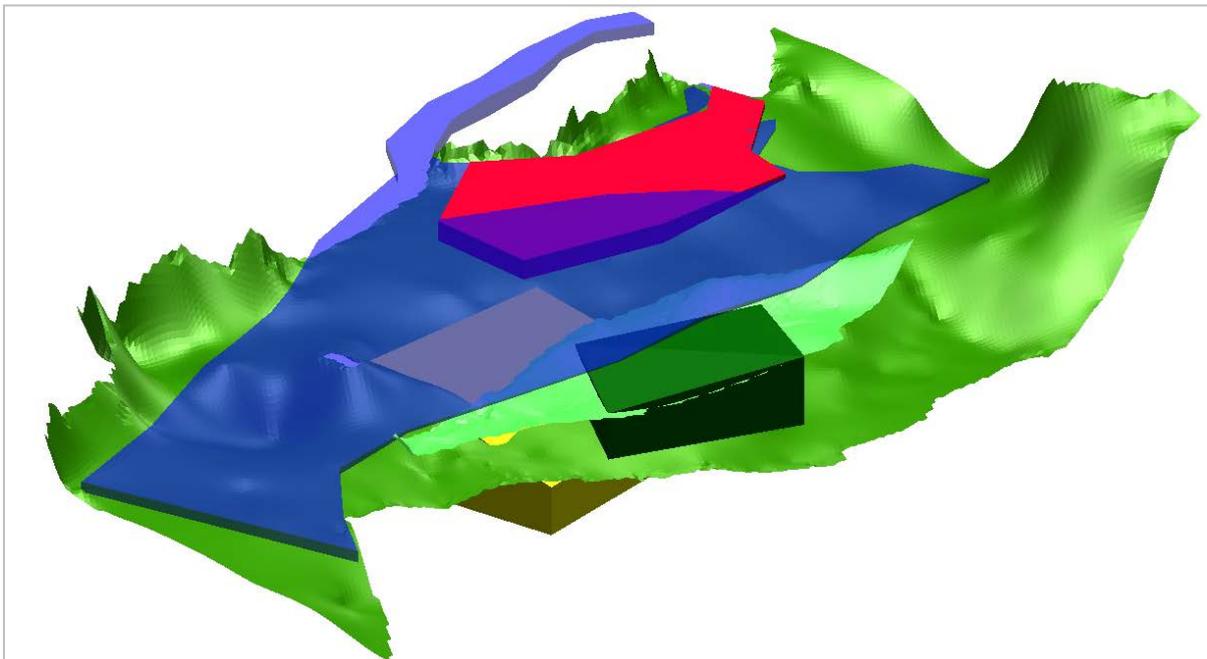
erfolgen. Dort erfolgen das räumliche Verschneiden und die geeignete Speicherung der Datensätze.

Abb. 49: Lage der Beispielnutzungen relativ zueinander im 3D-Raum (Blickrichtung Nordosten)



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 50: Lage der Beispielnutzungen und der Kreideschichten im 3D-Raum (Blickrichtung Nordwesten)

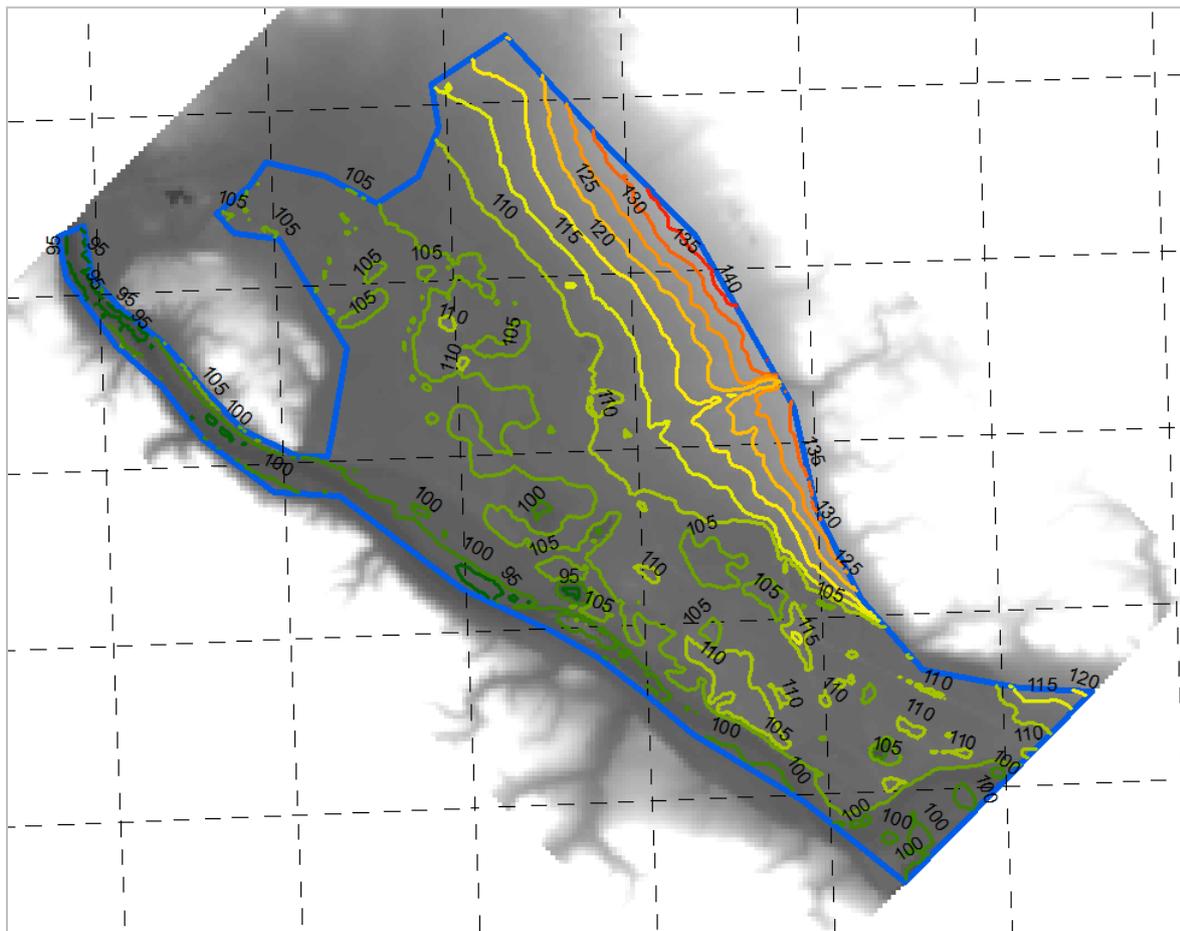


Quelle: Eigene Darstellung

6.3.3.2 Visualisierung von Nutzungsräumen als 2D-Elemente

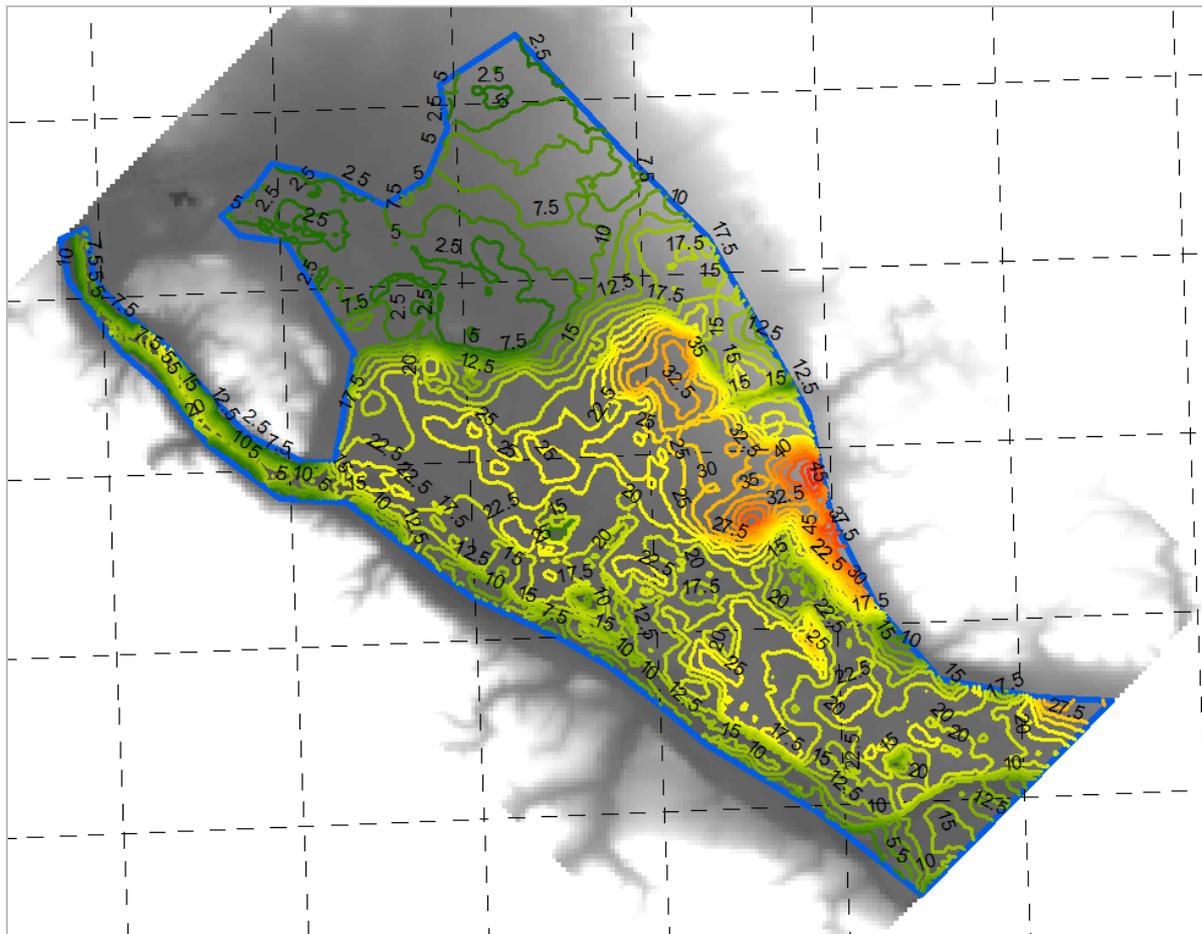
Um die Lage eines Körpers im Raum zu definieren, werden neben der Kontur des Volumens (Abb. 48) weitere Informationen benötigt. Dies können beispielsweise die Lage der Oberkante, die Lage der Unterkante oder die Mächtigkeit des Körpers sein. Es werden jeweils nur 2 dieser 3 Datensätze benötigt, da der dritte jeweils aus den anderen beiden abgeleitet werden kann. Ein 3D-Körper kann also durch zwei 2D-Darstellungen sehr genau definiert werden (Abb. 51 und Abb. 52).

Abb. 51: Konturkarte der Oberkante der Grundwassernutzung



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 52: Konturkarte der Mächtigkeit der Grundwassernutzung



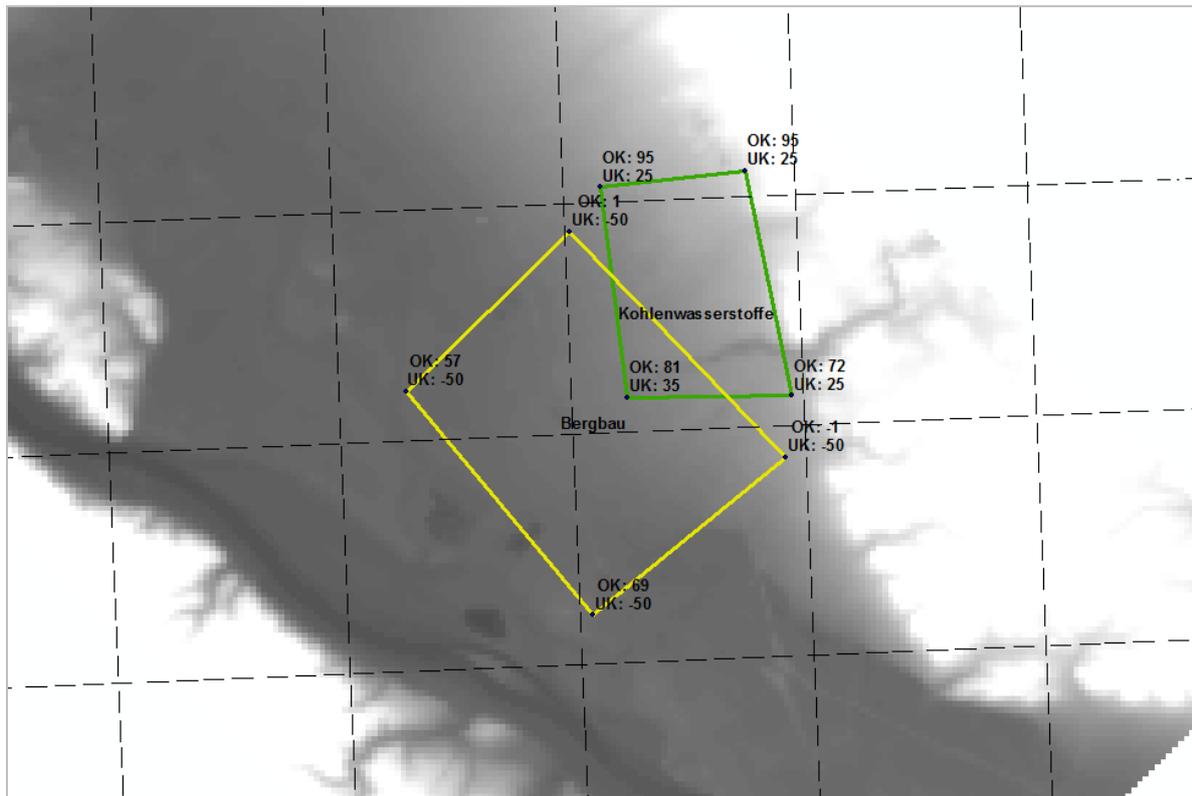
Quelle: Eigene Darstellung

Auf diese Weise können auch sehr komplexe Körper anschaulich beschrieben werden. Das Problem besteht aber darin, dass die räumlichen Lagebeziehungen mehrerer aufeinanderfolgender Nutzungen nur sehr unzureichend visualisiert werden können, da es nicht sinnvoll ist, hier mehrere Konturkarten gleichzeitig darzustellen.

Dieses Problem ist weniger ausgeprägt, wenn einfache Nutzungsräume nur über die Position der Eckpunkte definiert werden. Sie können auch ohne Konturkarten nur durch die ihre jeweiligen Eckpunkte eindeutig definiert werden (Abb. 53). In diesen Fällen können auch mehrere Nutzungsräume gleichzeitig dargestellt werden.

Die räumlichen Lagebeziehungen lassen sich auch hier schwerer nachvollziehen als innerhalb einer 3D-Modellierungsumgebung. So kann beispielsweise bei schrägen Flächen, nur schwer nachvollzogen werden, ob sich Nutzungsbereiche durchdringen. Dennoch ist die Definition von potenziellen Nutzungsräumen als Grundlage für den Raumplaner als auch das Ergebnis der Raumplanung selbst, die Nutzungsräume in Form von 2D-Karten (Mächtigkeit und Ober- oder Unterkante in einer Darstellung) eindeutig darstellbar.

Abb. 53: Räumliche Definition zweier quaderförmiger Nutzungsräume über ihre Eckpunkte. Es sind jeweils Oberkante (OK) und Unterkante (UK) in m Höhe über Normal Null angegeben.



Quelle: Eigene Darstellung

6.4 Visualisierung von Nutzungsräumen am Beispiel Niedersachsen

6.4.1 Herkunft und Struktur der Daten

Wie in Abschnitt 5.7.3 erläutert, wurde in den 1970er und 1980er Jahren von der BGR der geotektonische Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor erstellt. Dies geschah in Form von Tiefenlinienkarten und geologischen Schnitten. Seit 2007 setzt das LBEG diesen geotektonischen Atlas in ein 3D-Modell um. Nach Fertigstellung erfolgte eine Freigabe durch den Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung (WEG) für den Maßstab 1 : 300.000 und die Veröffentlichung durch die BGR. Mit der Umsetzung in ein dreidimensionales Modell (GTA3D) können viele Defizite des Geotektonischen Atlas behoben und die Nutzung der enthaltenen Informationen deutlich vereinfacht werden. Insbesondere bieten sich damit stark verbesserte Auswertungsmöglichkeiten, auch über das Internet, an (ist in Vorbereitung). Entscheidende Vorteile des 3D-Modells gegenüber der bisher verfügbaren Version sind

- ll) ein stringent geprüfter Datensatz, der effizient aktualisierbar ist,
- mm) eine anspruchsvolle, verfügbare Visualisierung der geologisch-tektonischen Verhältnisse und
- nn) die Möglichkeit zur Quantifizierung der dargestellten Verhältnisse (z. B. Volumen- oder Flächenermittlung).

Wie in Abschnitt 5.7.3.4 erläutert, soll der GTA3D als grundlegendes Werk für den tieferen Untergrund Niedersachsens ein wichtiges Instrument für die Beratungstätigkeit des

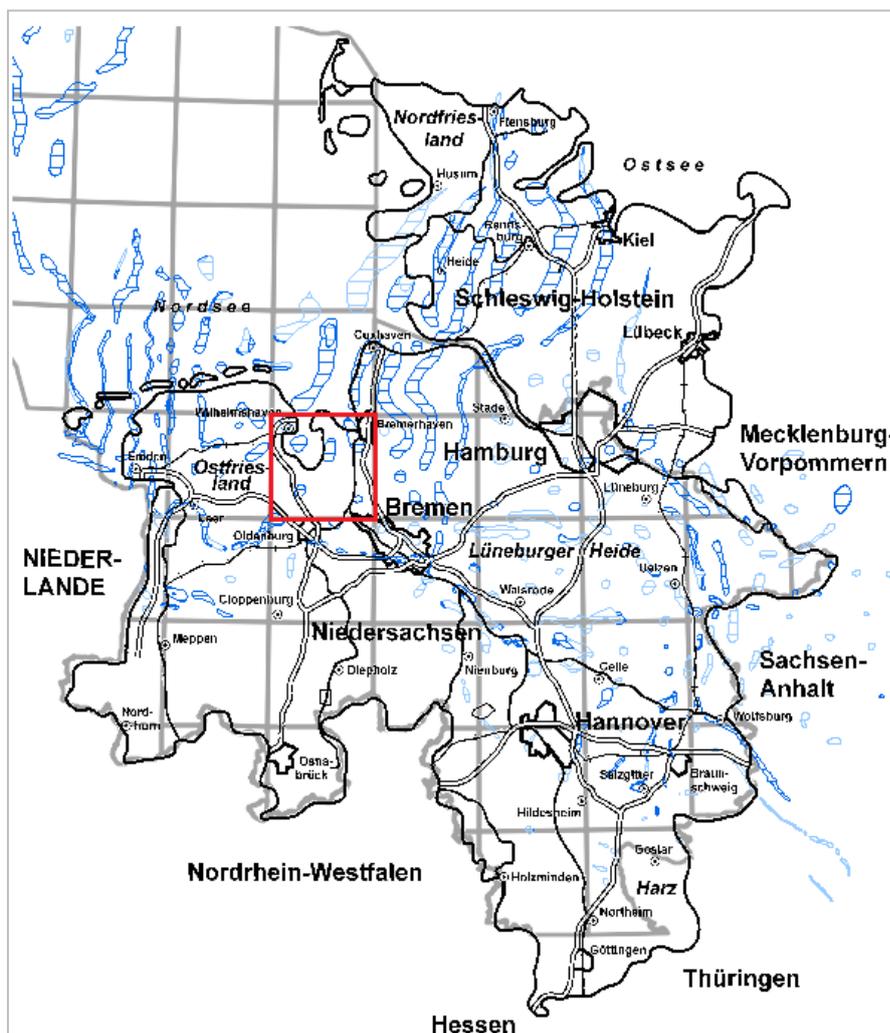
LBEG sein, er soll auch für die Industrie sowie andere Institutionen verfügbar gemacht werden (LBEG, 2013 d). Auf dieser Grundlage konnten die Daten des TK100-Blattes (topografische Karte im Maßstab 1 : 100.000) 2714 Bremerhaven genutzt werden. Diese wurden vom LBEG zur Verfügung gestellt.

6.4.2 Aufbereitung der geologische Datengrundlage

Im Unterschied zu Sachsen ist Niedersachsen in weiten Teilen von sehr tiefen Beckenstrukturen geprägt. Die Becken sind teilweise mehrere 1.000 m tief. Das kristalline Grundgebirge tritt nirgendwo zutage. Geologisch von besonderer Bedeutung sind dabei die vor allem im Norden Niedersachsens verbreiteten Salzstrukturen, die für eine Reihe von unterirdischen Nutzungen von Interesse sind und bereits heute umfassend genutzt werden.

Das 3D-Modell umfasst ganz Niedersachsen und ist in über 50 TK100-Blätter eingeteilt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird für diesen Bericht nur ein TK100-Blatt verwendet (Abb. 54). Das Kartenblatt 2714 Bremerhaven wurde ausgewählt, da es mehrere gut erkundete Salzstöcke enthält und das dazugehörige 3D-Modell weitgehend konsistent ist.

Abb. 54: Übersicht über die TK100-Blätter des GTA3D. Blatt 2714 Bremerhaven wurde rot hervorgehoben. Die vorhandenen Salzkissen sind in blau dargestellt.

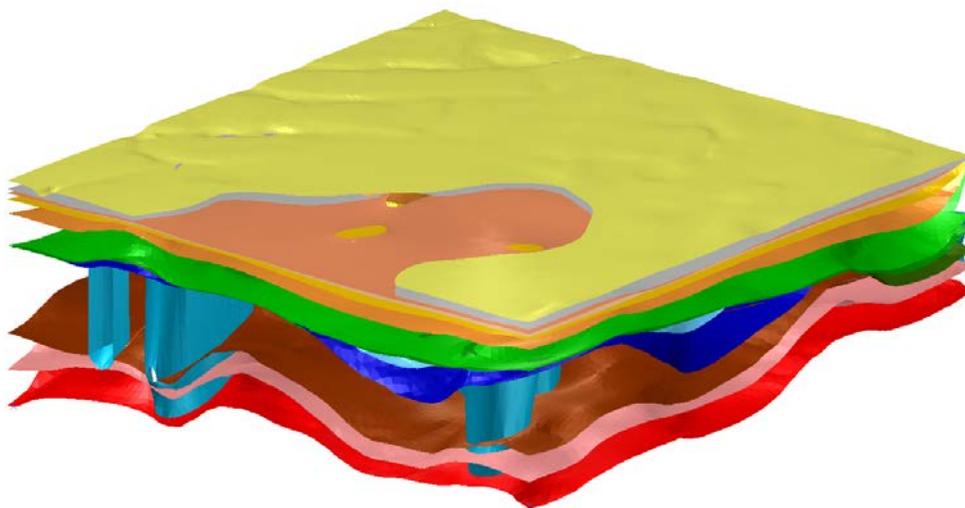


Quelle: Eigene Darstellung

Auf diesem Kartenblatt werden 16 verschiedene Einheiten differenziert (Abb. 55 und Abb. 56). Die Basis bilden die Salze des Zechstein, aus denen sich die Dome und sonstigen Salzstrukturen erheben. Nach oben ist das Modell durch eine ungegliederte Quartäreinheit begrenzt. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zum 3D-Modell von Sachsen dar, in dem die detaillierte Darstellung der Einheiten des Quartär und Tertiär im Vordergrund stehen. An seinem tiefsten Punkt reicht das Modell bis in eine Tiefe von - 6.300 m üNN. Das ausgewählte Modellgebiet besitzt eine Ausdehnung von ca. 45 km x 45 km.

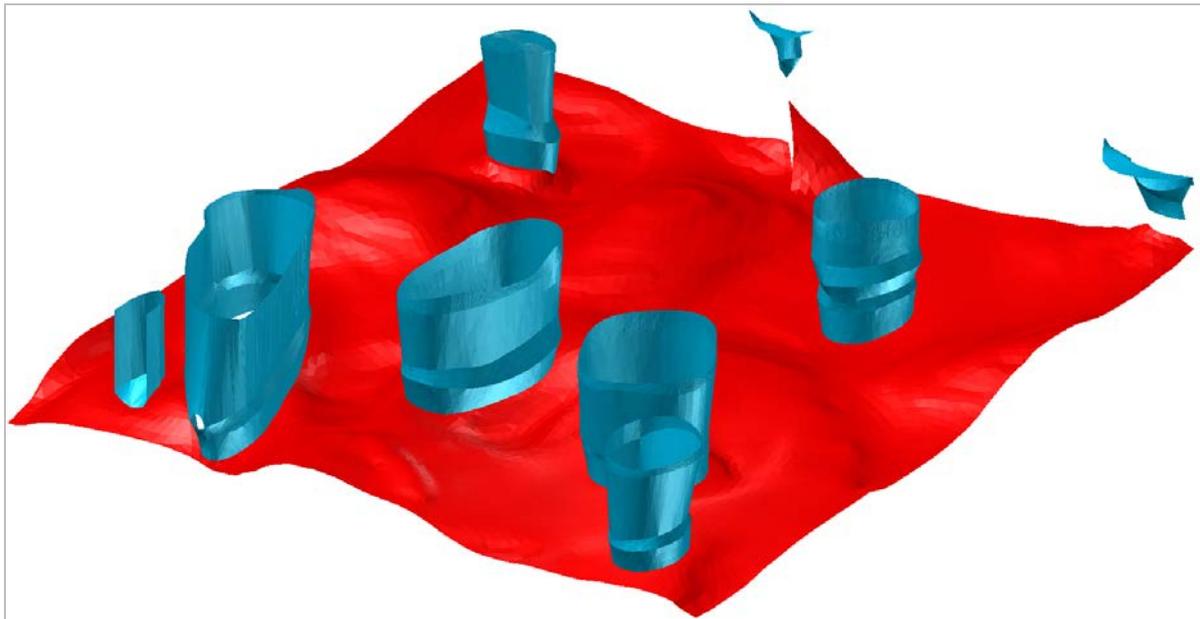
Abb. 55: Übersicht über das gesamte 3D-Modell des TK100-Blattes 2714 Bremerhaven; Blickrichtung ist nach Südosten. Darstellung zweifach überhöht. Die Aussparung im Quartär entspricht dem Jadebusen bei Bremerhaven. Die Salzstrukturen des Zechstein sind in hellblau dargestellt und werden in der Legende nicht aufgeführt.

-  Quartär, ungegliedert
-  Mittelmiozän bis Pliozän
-  Untermiozän
-  Rupel bis Oberoligozän
-  Mittelliozän bis Obereozän
-  Oberpaläozän bis Untereozän
-  Oberkreide
-  Marine Unterkreide
-  Oberjura und Wealden
-  Dogger
-  Lias
-  Keuper
-  Röt und Muschelkalk
-  Unterer und Mitt. Buntsandstein



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 56: Übersicht über Lage und Form der Salzstrukturen im Modellgebiet. Die Ansicht entspricht der Ansicht in Abb. 55.



Quelle: Eigene Darstellung

6.4.3 Visualisierung von Nutzungsräumen im Modellgebiet

Für den Bereich Niedersachsen sind verschiedene unterirdische Nutzungen denkbar. Besonders im Vordergrund stehen hier die Nutzungen, die an Salzstrukturen gebunden sind, beispielsweise die Soleförderung mit anschließender Gasspeicherung. Die intensive Erkundungstätigkeit in Niedersachsen beruht aber vor allem auf der Suche nach Erdöl- und Gas, welches in vielen Fällen an den Flanken der Salzstrukturen zu finden ist. Darüber hinaus sind die tiefliegenden Sedimentschichten für geothermische Zwecke von Interesse, während in den oberen Sedimentschichten flache Geothermie eine mögliche Nutzung darstellt.

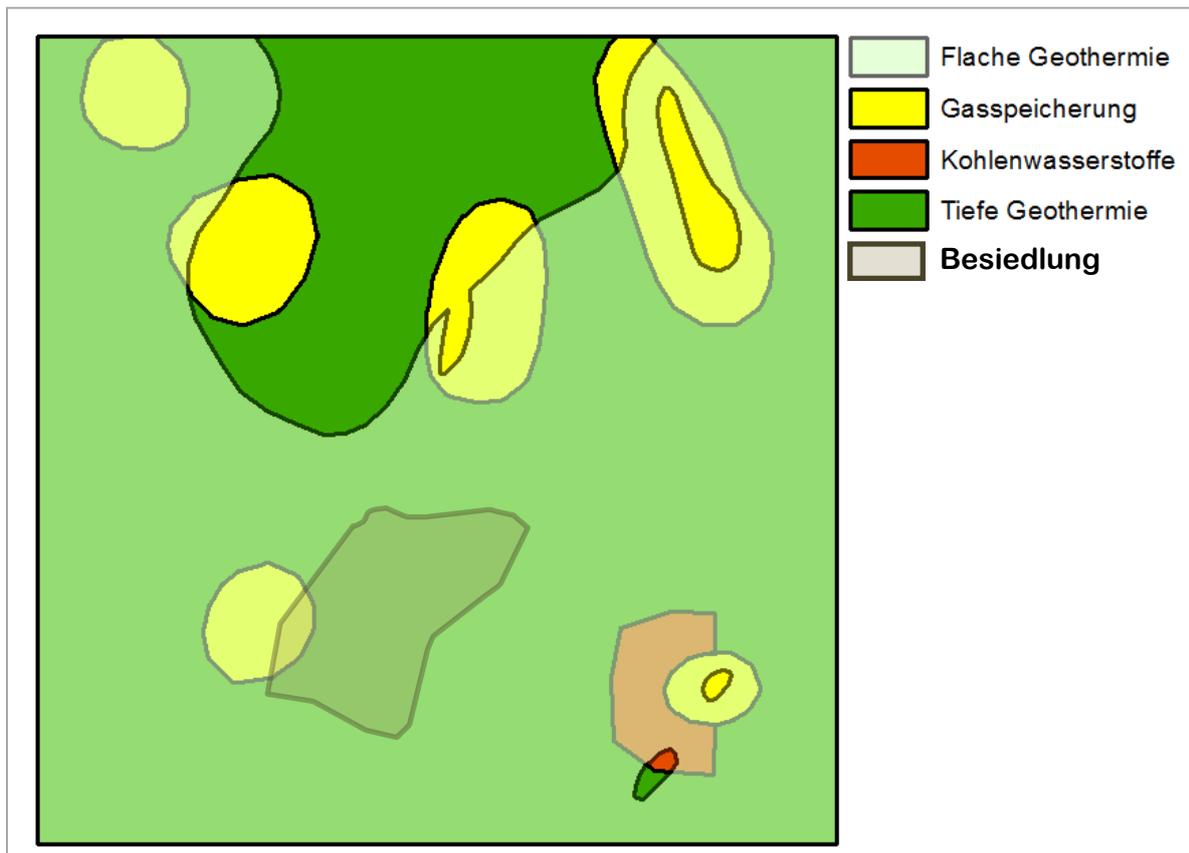
Für diesen Bericht wurde jeweils eine dieser Nutzungen ausgewählt und entsprechende Nutzungsräume generiert (Abb. 57):

1. Flache Geothermie im gesamten Mittelmiozän bis Pliozän. Die entsprechenden Schichten sind im Bereich der Nordsee nicht verbreitet. In der Abbildung wurde diese Schicht transparent dargestellt um die darunterliegenden Strukturen sichtbar zu machen.
2. Aussolung und Gasspeicherung innerhalb der größeren Zechstein-Salzstrukturen. Es wurden nur Strukturen aufgenommen, die vollständig im Kartenblatt liegen. Die entsprechenden Nutzungsbereiche wurden gelb eingefärbt.
3. Förderung von Kohlenwasserstoffen innerhalb der Lias-Schichten nahe geeigneter Salzstrukturen. Als Beispiel wurde ein Nutzungsbereich im Südwesten erstellt. In der Kartendarstellung ist er rot dargestellt.
4. Tiefe Geothermie innerhalb der Schichten des unteren und mittleren Buntsandsteins. Die entsprechende Schicht ist flächendeckend vorhanden und wird nur durch die Salzstrukturen durchbrochen. Entsprechende Nutzungen sind aus jetziger Sicht eher auf den Festlandbereich oder den Festland nahen Bereich be-

schränkt. Die entsprechenden Verbreitungen wurden in der Abbildung in dunkelgrün dargestellt.

Im Unterschied zu Sachsen, wo Grundwasserleiter meist nur lokal, bspw. in großen Flusstälern oder in Kreideformationen vorhanden sind, sind sie in Niedersachsen flächendeckend vorhanden. Entsprechend werden auch die Nutzungsräume in diesem Modell flächendeckend definiert. Im vorliegenden Beispiel sind stockwerksbezogenen Nutzungen möglich, da beispielsweise die flache Geothermie im gesamten südlichen Bereich möglich ist und alle anderen Beispielnutzungen erst in größerer Tiefe stattfinden. Anhand der 2D-Kartendarstellung (dies sind keine Potenzialkarten) scheinen eine Reihe von Nutzungskonkurrenzen vorzuliegen. Erst durch Auswertung der 3D-Lagebeziehungen der potenziellen Nutzungsbereiche wird deutlich, ob es sich um tatsächliche Nutzungskonkurrenzen handelt.

Abb. 57: Projektion der definierten Nutzungsräume im Modellgebiet auf eine 2D-Kartendarstellung. Flache und Tiefe Geothermie sind, wo die entsprechenden Schichten vorhanden sind, flächendeckend verbreitet. Gasspeicherung ist auf die Salzstrukturen beschränkt und für eine Kohlenwasserstoffförderung wurde exemplarisch nur ein Nutzungsraum definiert.



Quelle: Eigene Darstellung

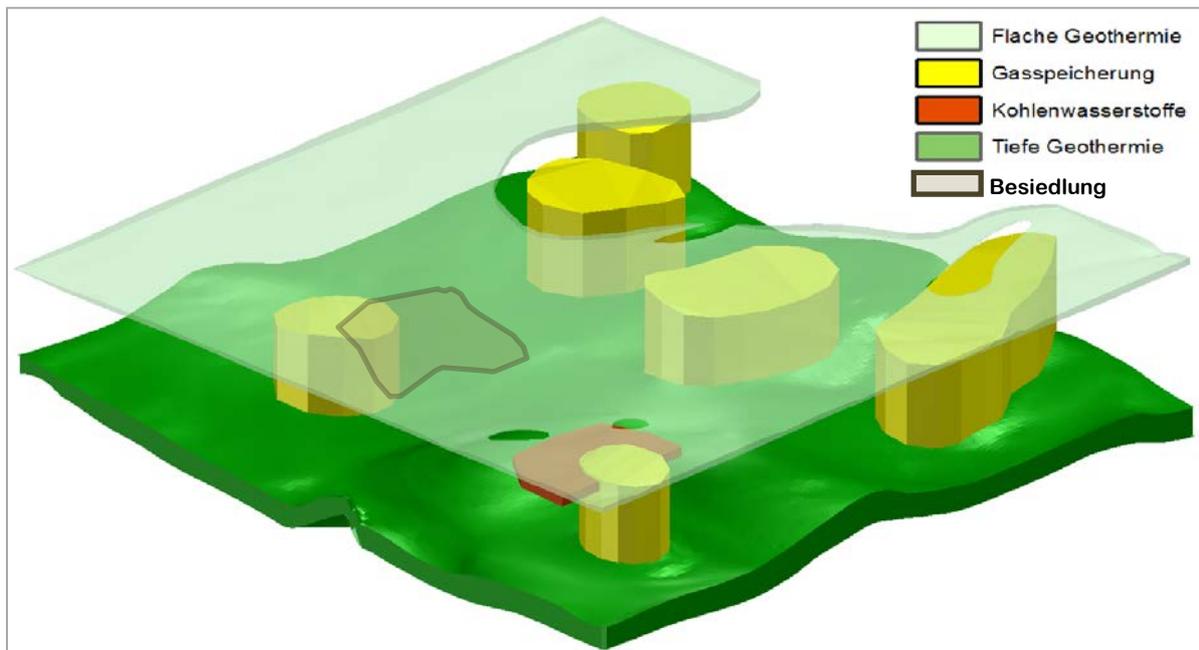
6.4.3.1 Visualisierung von Nutzungsräumen als 3D-Elemente

Wie bereits in Abschnitt 6.3.3.1 dargestellt, ist die dreidimensionale Darstellung vornehmlich dazu geeignet, die Lagebeziehungen der Nutzungsräume (Abb. 58) bzw. geologischer Elemente (Abb. 59) zueinander zu illustrieren. In den Abbildungen wurden jeweils potenzielle Nutzungsräume einschließlich der notwendigen Pufferbereiche dargestellt. Die Pufferbereiche richten sich nach der konkreten Nutzung. Bspw. ist für Salzkavernen

im Prinzip kein zusätzlicher Puffer notwendig, während bei der tiefen Geothermie und bei den Kohlenwasserstofflagerstätten jeweils die stauenden Schichten in die Nutzungsbereiche im Sinne von Pufferzonen eingeschlossen wurden. In der Praxis ist es allerdings so, dass die Salzstöcke heterogene Körper darstellen, deren reale Form weitgehend unbekannt ist. Aus diesem Grund ist es, vor allem für die Planung, sinnvoll auch hier einen entsprechenden Puffer einzusetzen.

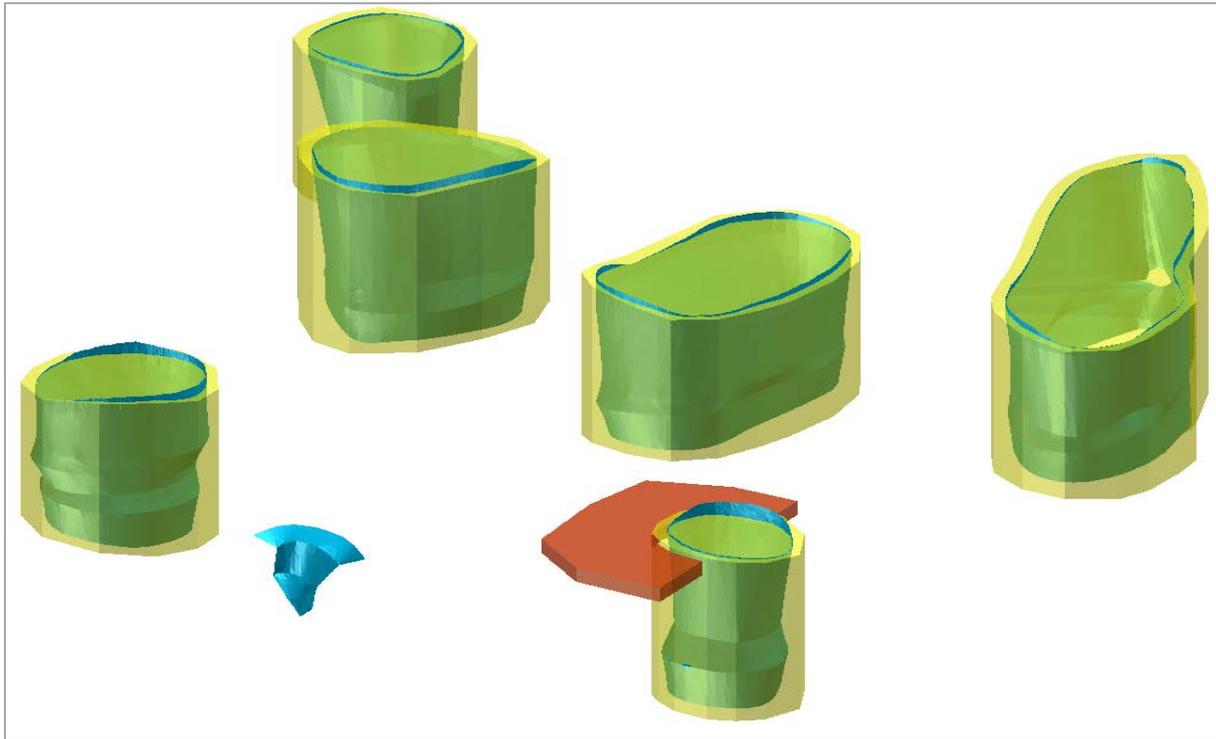
Zusätzlich wurde die Nutzungskonkurrenz zwischen einer Nutzung der Salzstöcke für Kavernen (bspw. für Gas- oder Druckluftspeicherung) und der Besiedlung verdeutlicht. Hier muss im Rahmen von Risikoanalysen bewertet werden, ob eine Nutzung von Salzstöcken unter Wohnbebauungen akzeptabel ist. Das Beispiel ist auch insofern sehr wichtig, da der Pufferbereich die Erdoberfläche nicht erreicht. Das bedeutet, dass eine Nutzung im bestimmungsgemäßen Betrieb möglich wäre. Folglich entscheidet die Bewertung des nicht bestimmungsgemäßen Betriebes darüber, ob und welche Nutzung im Salzstock möglich ist.

Abb. 58: Darstellung der Nutzungsräume im 3D-Raum. Blickrichtung ist Richtung NW. Darstellung zweifach überhöht.



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 59: Darstellung der Nutzungsräume für Aussolung und Gasspeicherung (gelb transparent) und die Kohlenwasserstoffförderung (rot) und die assoziierten Salzstrukturen.

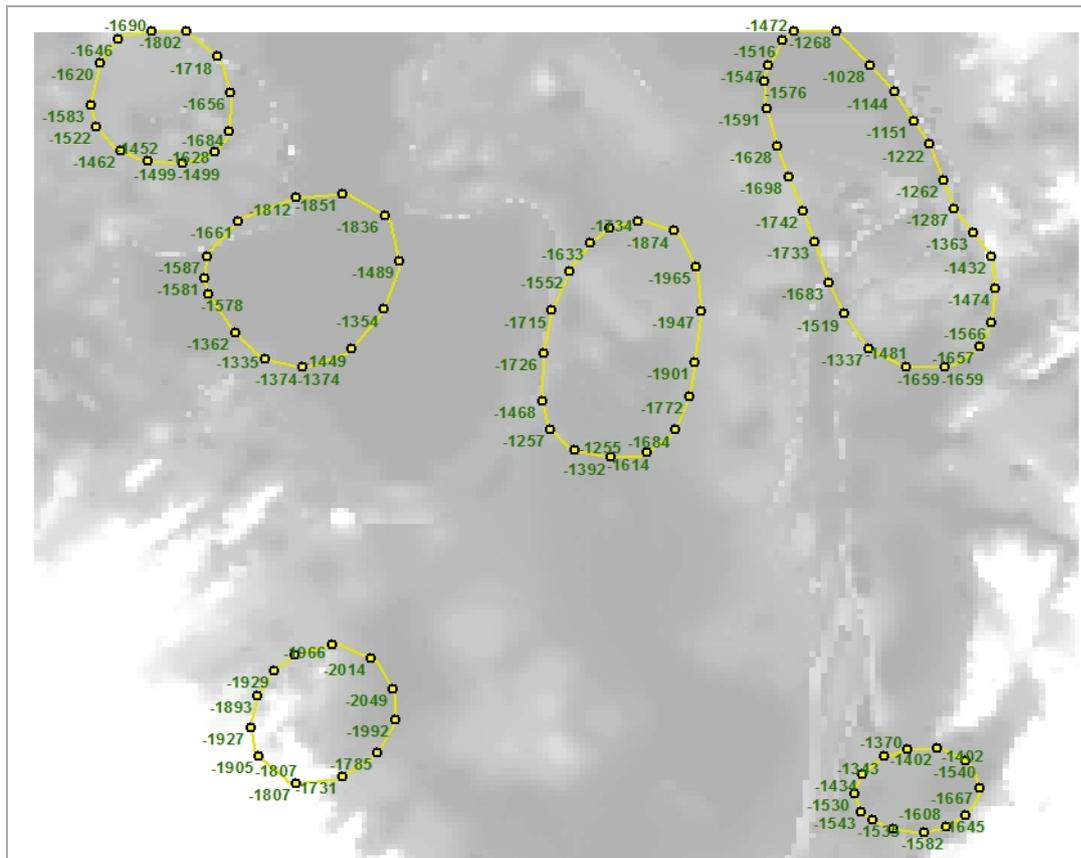


Quelle: Eigene Darstellung

6.4.3.2 Visualisierung von Nutzungsräumen als 2D-Elemente

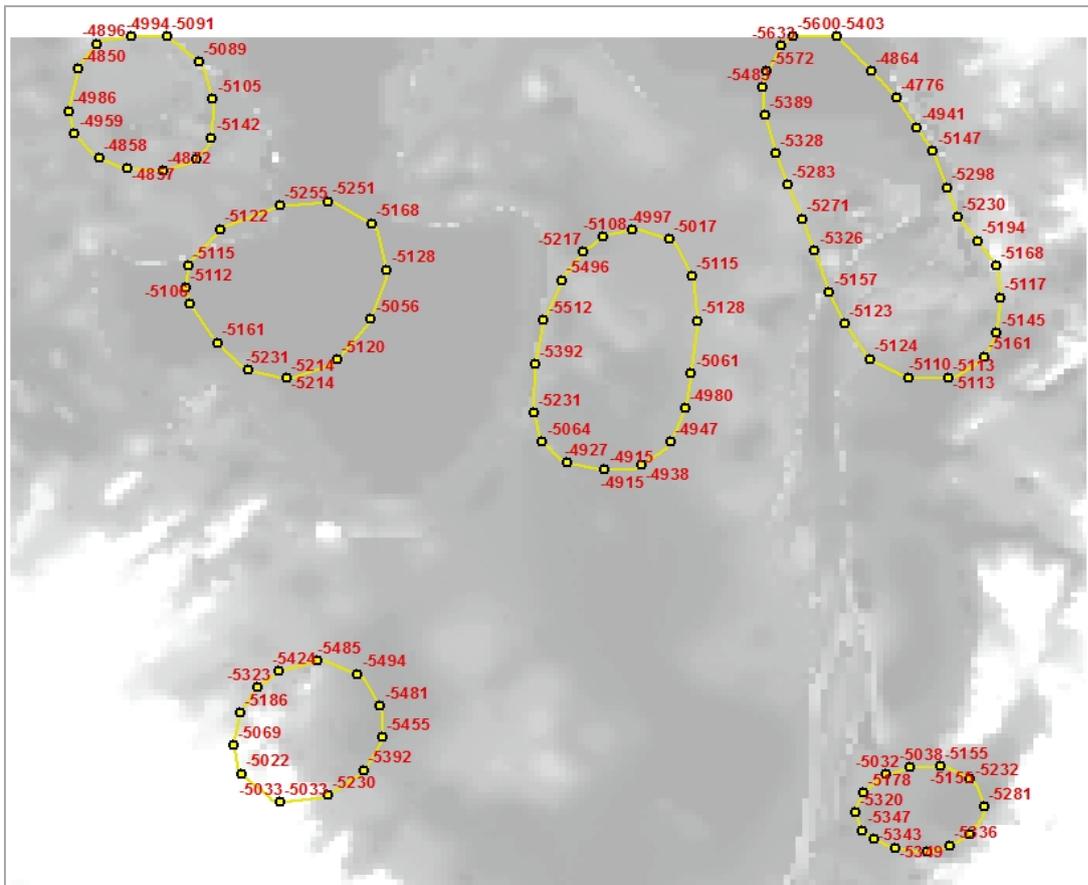
Wie schon in Abschnitt 6.3.3.2 erwähnt, ist die Darstellung eines 3D-Körpers in der 2D-Ebene möglich. Für komplexe Geometrien werden wegen der Übersichtlichkeit mindestens zwei Abbildungen empfohlen. Somit hängt die Auswahl der genutzten Darstellung von der genutzten Methode zur Körperdefinition (einfache oder komplexe Körper) ab (Abb. 60 bis Abb. 63).

Abb. 60: Position der einzelnen Nutzungsräume der Aussulung und Gasspeicherung. Definition der Oberkante durch die Tiefenangabe der definierenden Eckpunkte.



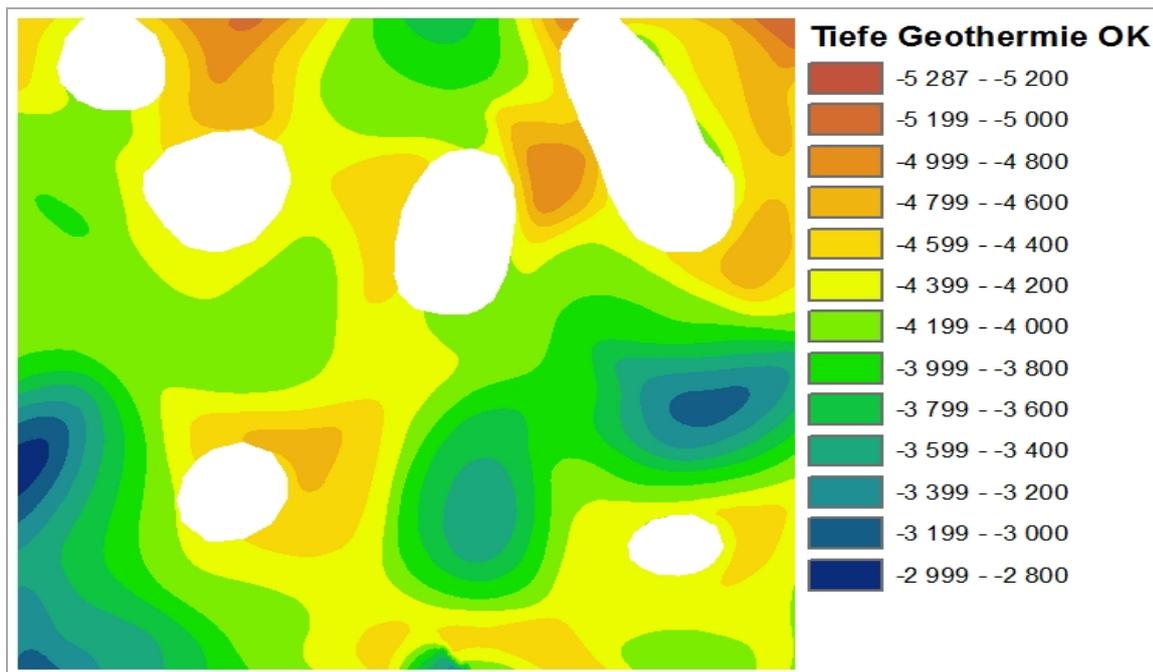
Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 61: Position der einzelnen Nutzungsräume der Aussolung und Gasspeicherung. Definition der Unterkante durch die Tiefenangabe der definierenden Eckpunkte.



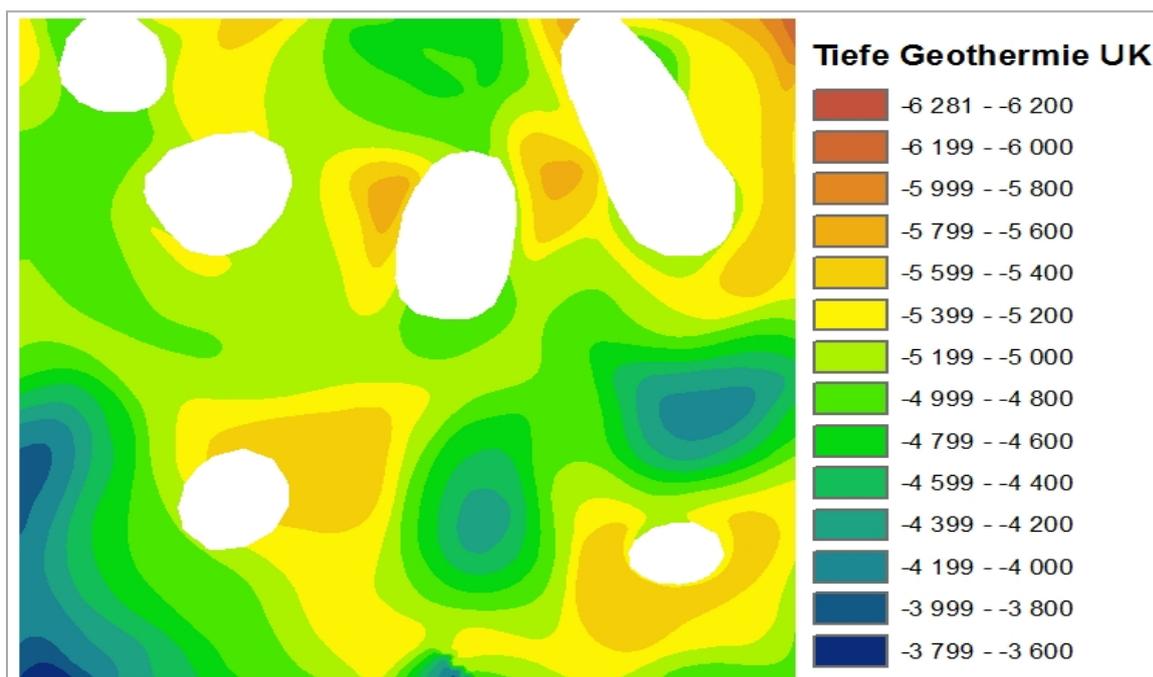
Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 62: Lage der Oberkante des Nutzungsraumes für die tiefe Geothermie. Definition durch Konturkarte.



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 63: Lage der Unterkante des Nutzungsraumes für die tiefe Geothermie. Definition durch Konturkarte.



Quelle: Eigene Darstellung

6.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Darstellung von Nutzungsräumen

Anhand von zwei Beispielregionen aus zwei Bundesländern wurden die unterschiedlichen Möglichkeiten der Darstellung von Nutzungsräumen gezeigt und diskutiert. Die 3D-Modellierungswerkzeuge spielen dabei eine zentrale Rolle. Weder die Erstellung der 3D-Untergrundmodelle vom geologischen Fachexperten, noch die eigentliche unterirdische Raumplanung ist ohne 3D-Modellierungswerkzeuge denkbar. Als Schnittstelle zwischen

den geologischen Fachexperten und den Raumplanern werden die potenziellen Nutzungsräume vorgeschlagen. Dabei handelt es sich für jede mögliche Nutzung um 3D-Körper, die den für die Nutzung notwendigen Raum definieren. Für unterschiedliche Nutzungen können sich diese Körper überlappen bzw. durchdringen.

Die potenziellen Nutzungsräume werden auf der Grundlage aller für die Raumplanung verfügbaren Daten erstellt. Dabei sollte neben der Geometrie der Körper auch das Nutzungspotenzial charakterisiert und verknüpft mit den Körpern in einer Datenbank abgelegt werden.

Es wird empfohlen, die Speicherung der potenziellen Nutzungsräume konsequent softwareunabhängig durchzuführen. Da es dazu noch keine einheitlichen Standards für 3D-Daten gibt, kommt beispielsweise eine Darstellung in Form von Rasterdaten (Oberkante, Unterkante und Mächtigkeit im ASCII-Format) in Frage. Diese Daten können in Datenbanken oder auch in GIS-Systemen abgelegt werden.

Die potenziellen Nutzungsräume können entweder in Form von detaillierten 3D-Körpern oder aber in Form von vereinfachten Körpern (bspw. Quader) definiert werden. Zwar sind die einfachen Körper auch einfacher handhabbar, jedoch wird die Verwendung von detaillierten Körpern empfohlen, um den unterirdischen Raum auch möglichst gut auszunutzen. Die Ursache liegt darin, dass einfache Körper immer die gesamte nutzbare Struktur umschließen müssen und folglich auch Bereiche außerhalb der Struktur einschließen. Diese Empfehlung beruht auch auf der Tatsache, dass die 3D-Modellierungswerkzeuge sehr hohen Entwicklungsstand aufweisen und auch immer einfacher bedient werden können.

Zu Dokumentationszwecken können die 3D-Nutzungsräume eindeutig in Form von Karten mit Mächtigkeiten und Ober- oder Unterkante dargestellt werden. Auch 2D-Vertikalschnitte sind zusammen mit der Lage der Schnittspuren eindeutige Darstellungen. Die Darstellung in Form von Screenshots von 3D-Darstellungen kann zwar zur Veranschaulichung dienen, ist jedoch nicht eindeutig. Eine weitere, relativ neue Möglichkeit besteht in der Speicherung von sogenannten 3D-pdf-Dateien. Diese enthalten ein reduziertes 3D-Modell, in welchen einzelne Layer ein- und ausgeblendet werden können. Außerdem kann gezoomt und gedreht werden.

Der Teil der Raumplanung, der sich mit der Geometrie der Nutzungsräume befasst, sollte ebenfalls innerhalb einer 3D-Umgebung erfolgen, um Überschneidungen und Durchdringungen von Körpern eindeutig herausarbeiten zu können. Die Ergebnisse der Raumplanung, die Nutzungsbereiche, sollten dabei analog wie die potenziellen Nutzungsbereiche wieder softwareunabhängig gespeichert werden. Für Dokumentationszwecke besteht die Möglichkeit Screenshots aus 3D-Modellen zu verwenden. Diese vermitteln gut räumliche Eindrücke, sind aber nicht eindeutig. Eindeutigkeit wird mit 2D-Karendarstellungen (Mächtigkeit und Ober- oder Unterkante) oder Vertikalschnitten zusammen mit den Schnittspuren erreicht. Auch hier soll wieder auf die 3D-pdf-Dateien verwiesen werden, die zur Visualisierung ein geeignetes Tool darstellen können.

7 Ergebnisse

7.1 Geologische Grundlagen

Im vorliegenden Bericht im Teilvorhaben 1 „Geologische Daten“ wurden zunächst die typischen geologischen Strukturen für unterirdische Nutzungen definiert:

- Allgemeiner Untergrund
- Aquifere
- Abgedeckte Aquifere
- Konventionelle Öl- und Gasvorkommen
- Unkonventionelle Öl- und Gasvorkommen
- Mineralische Rohstoffvorkommen
- Steinkohlenflöze
- Salzstöcke und stratiforme Salzvorkommen

Daneben wurden die wichtigsten Kriterien für jeweilige unterirdische Nutzungen definiert und beschrieben:

- Petrophysikalische Kriterien (Permeabilität, Porosität, Eignung für Stimulation, Standsicherheit)
- Strukturgeologische Kriterien (Schichtmächtigkeit, Fallenstrukturen, Tektonische Elemente)
- Geochemische Eigenschaften (Rohstoffgehalt, Salinität, Fluidqualität)
- Druck und Temperatur (Geothermische Tiefenstufe, Reservoirdruck)

Auf Basis dieser Definitionen wurden typische unterirdische Nutzungen vorgestellt und hinsichtlich ihrer Parameter und notwendiger geologischer Strukturen diskutiert. Das Ergebnis wurde in Form einer Tabelle zusammengefasst (Tab. 1). Für jede in Frage kommende Kombination wurden diejenigen Kriterien aufgelistet, welche für die Verwendbarkeit einer Struktur für eine Nutzung entscheidend sind.

7.2 Unterirdische Nutzungskonkurrenzen

Es wurde zunächst dargestellt, welche Arten von Auswirkungen von den unterschiedlichen Nutzungen des geologischen Untergrundes ausgehen können. Es wird unterschieden zwischen geohydraulischen, geochemischen, geothermischen und geomechanischen Auswirkungen und als Sonderfall Auswirkungen auf die Erdoberfläche durch mögliche Beeinträchtigung von Schutzgütern. Unter dem Blickwinkel dieser möglichen Arten von Auswirkungen wurden die wesentlichen bekannten Nutzungen dahingehend analysiert, welche Auswirkungen im bestimmungsgemäßen und im nicht bestimmungsgemäßen Betrieb von der Nutzung ausgehen können. Diese Betrachtung wurde zunächst aus formaler Sicht im Sinne von grundsätzlich möglich geführt. Eine Übersicht über die unterschiedlichen möglichen Auswirkungen wurde in Anlage 2 in Form einer Matrix zusammengestellt. In dieser Matrix ist ebenfalls zwischen bestimmungsgemäßen und nicht bestimmungsgemäßen Betrieb unterschieden worden.

In einem weiteren Schritt wurden die Nutzungskonkurrenzen betrachtet. Bei dieser Analyse wurde unterschieden zwischen unterschiedlichen Arten von Nutzungskonkurrenzen, insbesondere:

- Konkurrenzen an einem Ort,
- innerhalb einer Struktur bzw. eines Stockwerkes,
- Konkurrenzen in der stockwerksartigen Nutzung sowie
- Konkurrenzen mit Nutzungen an der Erdoberfläche.

Als zentrales Element wurden die Begriffe des Nutzungsraumes und des Projektraumes eingeführt. Unter einem Nutzungsraum wird der dreidimensionale Bereich innerhalb einer geologischen Struktur zusammen mit der notwendigen Pufferzone um diesen Bereich herum verstanden, der durch eine oder mehrere gleichartige Nutzungen (Projekträume) beeinflusst wird. Am Rande des Nutzungsraumes ist die Höhe der (geohydraulischen, geochemischen, geothermischen und geomechanischen) Beeinflussungen im bestimmungsgemäßen Betrieb für alle anderen unterirdischen Nutzungen akzeptabel. Die Größe des Nutzungsraumes ist sowohl von den lokalen geologischen Bedingungen als auch von der Art und dem Umfang der Nutzung abhängig. Bei den Projekträumen handelt es sich um dreidimensionale Bereiche gleichartiger Nutzungen innerhalb eines Nutzungsraumes, die auf bergrechtlichen Bewilligungen beruhen und unterschiedlichen Eigentümern zuzuordnen sind. Der Projektraum berücksichtigt den horizontal im bisherigen Sinne eines Bewilligungsfeldes abgegrenzten Bereich. Allerdings ist er dreidimensional auf den Nutzungsraum beschränkt. Mit diesem Vorschlag ist es entgegen der bisherigen Praxis auch möglich, Projekträume für gleichartige Nutzungen in unterschiedlichen Strukturen (Nutzungsräumen) übereinander zu bewilligen. Bspw. könnten damit Bewilligungen zur geothermischen Nutzung entgegen der bisherigen Praxis, jeweils auf ein Stockwerk beschränkt, vergeben werden. Dabei ist jedoch immer auch die vertikale Ausdehnung des Nutzungsraumes zu berücksichtigen.

Die Lage und die Größe der Nutzungsräume müssen im Rahmen von Detailuntersuchungen vom geologischen Fachexperten so festgelegt werden, dass die Auswirkungen an seinem Rand für andere Nutzungen akzeptabel sind. Das bedeutet, dass die geochemischen, geohydraulischen, geothermischen und geomechanischen Auswirkungen im bestimmungsbemäßen Betrieb für andere Nutzungen akzeptabel sind. Ebenso müssen die Risiken für Nutzungen an der Erdoberfläche akzeptabel sein. Insbesondere dürfen die noch festzulegenden Parameter sowie die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten der Überschreitung am Rande des Nutzungsraumes nicht überschritten werden. Die Festlegung zur Größe des Nutzungsraumes wird durch den geologischen Fachexperten bereits bei der Definition der potenziellen Nutzungsräume getroffen. Aus geologischer Sicht werden zunächst potenzielle Nutzungsräume für alle in Frage kommenden Nutzungen festgelegt. Dabei spielt das Vorhandensein bestimmter geologischer Strukturen die entscheidende Rolle. Sind in einer bestimmten Struktur unterschiedliche Nutzungen aus geologischer Sicht grundsätzlich möglich, so kann aus geologischer Sicht keine Priorität festgelegt werden. Die Priorisierung muss dann auf der Grundlage politischer oder wirtschaftlicher Erwägungen durch den Raumplaner erfolgen. Sollte es sich bei der Raumplanung als notwendig erweisen, die Größe des Nutzungsraumes zu reduzieren, so muss dies in enger Abstimmung mit dem geologischen Fachexperten geschehen.

Hinsichtlich der Kriterien für die geochemischen, geomechanischen, geohydraulischen und geothermischen Beeinflussungen wurden Ansätze vorgeschlagen, wie diese definiert werden können. Eine Festlegung konkreter Parameter muss auf der Grundlage eines Konsenses unter Einbeziehung der staatlichen geologischen Dienste erfolgen. Konkrete Vorschläge können deshalb an dieser Stelle nicht gemacht werden. Hinsichtlich der Auswirkungen von unterirdischen Nutzungen auf Schutzgüter auf der Erdoberfläche muss sichergestellt werden, dass Schutzgüter nicht unzumutbar gefährdet werden und dass insbesondere die Risiken akzeptabel sind. Dazu ist es notwendig, dass Risikoanalysen vom geologischen Fachexperten durchgeführt werden. Kriterien leiten sich aus den vorhandenen Umweltgesetzlichkeiten ab.

Im Rahmen der Betrachtungen wurde festgestellt, dass für die Festlegung von potenziellen Nutzungsräumen ein ausreichender geologischer Kenntnisstand vorhanden sein muss. Dieser ist nur in solchen Gebieten und dort nur in solchen Tiefenbereichen in hoher Detailliertheit vorhanden, die bisher bereits genutzt wurden bzw. für Nutzungen vorgesehen sind. Ein Beispiel hierfür sind die im Rahmen von Erdöl- und Erdgasprojekten sowie im Zusammenhang mit der tiefen Geothermie erkundeten großen Beckenstrukturen: das bayerische Molassebecken, der Rheintalgraben, das Norddeutsche Becken und das Thüringer Becken. Weitere Beispiele sind solche Gebiete, die bei der Rohstoffsuche detailliert erkundet wurden. Dies trifft bspw. auf Sachsen zu.

Obwohl in diesen Bereichen die für eine Festlegung von Nutzungsräumen und damit für die räumlich detaillierte unterirdische Raumplanung notwendigen Daten zumindest in bestimmten Teufenbereichen vorhanden sind, bedarf es umfangreicher Arbeiten, um diese Daten für die genannten Zwecke aufzuarbeiten. Dazu kommt erschwerend hinzu, dass sich ein Teil der Daten in Privatbesitz befindet und nur eingeschränkt nutzbar ist (siehe unten).

Am Beispiel von drei Bundesländern wurde erläutert, welche Daten vorhanden sind und welche rechtlichen Regelungen es zur Nutzung dieser Daten gibt. Dazu fanden mehrere Gespräche mit unterschiedlichen Institutionen statt. Die Ergebnisse sind in folgendem Abschnitt zusammengefasst.

7.3 Geologische Daten

7.3.1 Rechercheergebnisse

Die Informationsübermittlung an die SGD ist durch das Lagerstättengesetz festgelegt. Auf dieser Grundlage müssen die Bergämter auch über die Tätigkeit der Betriebe, welche sich in der Bergaufsicht befinden, unterrichtet werden. Dazu werden ebenfalls Daten der Vorhaben, in diesem Fall Risswerke und Tätigkeitsberichte, übermittelt.

Recherchen haben gezeigt, dass der Datenzugang über eine Vielzahl von Gesetzen geregelt ist. Der Datenzugang ist mittels eines top-down Ansatzes durch die INSPIRE-Richtlinie und der entsprechende Umsetzung in Ländergesetze geregelt. Hier greift in Deutschland das Geodatenzugangsgesetz. Unabhängig davon regeln das Umweltinformationsgesetz sowie das Informationsfreiheitsgesetz Datenzugänge. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich ein Teil der Rohdaten im Besitz von privatwirtschaftlichen Eigentümern befindet. Diese Daten sind zwar für die SGD zugänglich, dürfen jedoch nur eingeschränkt verwendet werden, damit die Wahrung von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen nicht ge-

fährdet ist. Allerdings liegen die Nutzungsrechte für einen großen Teil von Rohdaten auch bei den Ländern bzw. beim Bund. Hierbei handelt es sich um Daten aus wissenschaftlichen Untersuchungen, um Daten aus der ehemaligen DDR und um eine Vielzahl von Daten aus den oberflächennahen Bereich.

Bei den Geodaten ist zu unterscheiden zwischen Primärdaten und interpretierten Daten. Zu den Primärdaten gehören insbesondere Bohrungen einschließlich aller an der Bohrung gewonnen Informationen (Schichtenverzeichnisse, petrophysikalische Parameter, Bohrlochgeophysik, geochemische Parameter, usw.) und geophysikalische Daten. Während Bohrungen eine punktuelle Tiefeninformation darstellen, handelt es sich bei den geophysikalischen Daten in der Regel um Tiefeninformationen entlang von Linien (2D-Seismik, Geoelektrik, usw.) oder auf Flächen (3D-Seismik, Gravimetrie, etc.).

Diese Primärdaten bilden die Grundlage für die Erstellung der interpretierten Daten. Beim Prozess der Interpretation, welcher durch geologische Fachexperten durchgeführt wird, werden alle im betreffenden Betrachtungsgebiet befindlichen Informationen zu einem konsistenten Bild des Untergrundes verarbeitet. Aufgrund der Mehrdeutigkeiten, Unsicherheiten und Unschärfe der Primärdaten sind in diesem Prozess eine Reihe von Annahmen zu treffen. Damit besitzt das Interpretationsergebnis stets eine gewisse Unsicherheit, die erst mit weiteren Erkundungen bzw. bei der Nutzung des Untergrundes (Gewinnung, Speicherung, Ablagerung und unterirdische Bauwerke) selbst, weiter reduziert werden kann. Es gibt verschiedenste Formen von interpretierten Informationen, insbesondere verschiedenste Arten von geologischen Karten (bspw. auch Potenzialkarten), 2D-Vertikalschnitte und verschiedenste Arten von 3D-Modellen (geologische Modelle, hydrogeologische Modelle, Lagerstättenmodelle, Reservoirmodelle, usw.).

In allen betrachteten Bundesländern besteht für öffentliche und private Nutzer die Möglichkeit, sowohl Zugriff auf die Primärdaten, insofern nicht privatrechtlich geschützt, als auch auf die interpretierten Daten zu erhalten. Geologische Karten können in unterschiedlichen Maßstäben bestellt bzw. fallbezogen abgerufen werden. Weiterhin bieten internetbasierte Kartendienste die Möglichkeit, individualisierte Karten abzurufen. Die ausgesuchten Fallbeispiele haben eine Vielzahl an Internetzugangsmöglichkeiten zu untergrundbezogenen Daten gezeigt. Zum einen können analoge Exemplare von geologischen Karten angefordert werden, diese erlauben einen Überblick über den jeweiligen Standort. Zum anderen können mit den internetbasierten Modellen teilweise detailliertere Betrachtungen vorgenommen werden. Hier bieten die Auswahlmasken eine individuelle Anpassung der Ausgabekarte sowie detaillierte Informationen z. B. zu Bohrungen oder Seismik. Durch Abfragen der jeweiligen Informationen kann ggf. der Datenbesitzer ermittelt werden, damit über die Nutzung seiner Daten verhandelt werden kann.

Von großem Interesse sind die Datendienste des LIAG, das FIS-Geophysik (GP) und das Geothermische Informationssystem für Deutschland. Sie zeigen eine Fülle an themenbezogenen Untergrundinformationen. Das FIS-GP ist durch entsprechende Sensitivitätsstufen geschützt.

Bezüglich der 3D-Untergrundmodellierung besitzt bisher nur Niedersachsen ein flächendeckendes Modell. Dieses ist aber laut Aussage der Experten des LBEG nicht auf dem aktuellsten Stand und weist teilweise Inkonsistenzen auf.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass ein Zusammenhang zwischen der vorliegenden Detailschärfe der Daten und deren Aussagekraft / Verwendbarkeit für die unterirdische

Raumplanung besteht. Aus der Sicht der Autoren kann das für dieses Bundesland vorhandene Modell als Grundlage für eine unterirdische Raumplanung mit eingeschränkter Aussagekraft (resultierend aus den Unzulänglichkeiten des Modells) genutzt werden.

Für die weiteren Fallbeispiele Sachsen und Bayern werden diese Modelle für die Zukunft angestrebt und sind schon in Bearbeitung.

Die Recherche zeigte, dass nicht flächendeckend Informationen vorhanden sind, sondern nur in bestimmten Bereichen des Bundesgebietes, welche für bestimmte unterirdische Nutzungen von besonderem Interesse waren bzw. sind. Bestimmte Bereiche wurden beispielsweise gezielt auf ihr Potential für eine Öl- und Gasförderung oder auf ihr Potential für eine Erzförderung hin untersucht. Die Auswahl dieser Bereiche beruht auf der wirtschaftlichen Situation und dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand zum Erkundungszeitpunkt. Wenn ein Bereich heute schlecht erkundet ist, bedeutet das daher nicht, dass er kein Nutzungspotential für unterirdische Nutzungen hat. Dies bedeutet lediglich, dass es für dieses Gebiet bisher offensichtlich keine Indizien für ökonomisch sinnvolle Nutzungsmöglichkeiten gab.

Die dargestellten Informationen zeigen aber auch hinsichtlich der räumlichen Lage von relevanten Strukturen eine Unschärfe. So sind die frei verfügbaren Daten und Modelle nur für einige Regionen zugänglich (z. B. im GeotIS) oder aufgrund datenschutzrechtlicher Gründe im Zugang eingeschränkt. Grundsätzlich werden mit den frei verfügbaren Daten und Modellen nur eingeschränkte Informationen bereitgestellt. Diese Einschränkungen, die sich aus dem Privateigentum an den Daten ergeben, gelten für Privatpersonen, Firmen und auch Behörden. Dies wird noch überlagert von der Unschärfe der Daten bzw. der Interpretation selbst. Anhand dieser Modelle sind allgemeine Aussagen zu bestimmten Nutzungen möglich, konkrete Parameter für die Bewertung der tatsächlichen Eignung auf Projektebene werden in der Regel jedoch nicht zur Verfügung gestellt. Insbesondere bei der Bewertung von Nutzungskonkurrenzen aus fachlicher Sicht sind solche Parameter (bspw. gesteinsphysikalische Parameter) von großer Bedeutung.

Für unterirdische Räume, welche mittels Kampagnen untersucht worden sind, existieren entsprechende Daten. Dies ist immer in Abhängigkeit zum geologischen Raum bzw. der geologischen Struktur zu sehen. Nur wo bestimmte Nutzungen aufgrund des Untergrundes für möglich gehalten werden, werden im Rahmen von Projekten Erkundungen durchgeführt. Letztere sind immer mit wirtschaftlichen Interessen verbunden und werden auch durch diese vorangetrieben. Entsprechend sind Daten für heutige bereits umgesetzte Nutzungen schon vorhanden, da unterirdische Räume bereits hinsichtlich spezifischer Nutzungen untersucht wurden (da sie sich in Privatbesitz befinden, sind die Daten jedoch beschränkt zugänglich). Entsprechend existieren für bestimmte Nutzungen bereits Potenzialkarten, wie z. B. für oberflächennahe Geothermische Nutzung, Trinkwassergewinnung oder vorhandene Rohstoffe.

Weiterhin sind bestimmte Nutzungen in Räumen auszuschließen, wo die geologischen Gegebenheiten nicht vorhanden sind.

7.3.2 Ergebnisse der Expertengespräche

Die Expertengespräche haben gezeigt, dass die Datenlage in den ausgewählten Bundesländern, sowie geowissenschaftlicher Einrichtungen sehr heterogen ist. Die Geodaten

über den Untergrund sind sowohl in analoger als auch digitaler Form vorhanden. Es wird angestrebt, Altdaten zu digitalisieren. Ein Großteil der Daten ist bereits digital verfügbar.

Die SGD bekommen laut Lagerstättengesetz sämtliche Informationen übermittelt. Übertragen und gespeichert werden diese aktuell und zukünftig in digitalen Formaten. Es besteht jedoch noch immer ein erheblicher Datenfundus analoger Daten aus der Vergangenheit (Gespräche: LfULG, SOBA BGR, LIAG).

Es wurde deutlich, dass ein erheblicher Datenbestand am Geozentrum Hannover zu finden ist. Dies ist zum einen der Zusammenlegung von LBEG, LIAG und BGR in eine Verwaltungseinheit geschuldet, aber auch die besondere Stellung des LBEG in der Datenverwaltung des KW-Verbundes spielt eine wichtige Rolle. Laut Expertengespräch (LIAG, LBEG) wurden Daten unterschiedlicher Bundesländer gemäß eines Übereinkommens im Kohlenwasserstoff-Verbund am LBEG gespeichert. Hier findet ein Austausch der beteiligten Bundesländer statt. Nicht beteiligte Bundesländer haben keinen Zugang zu den Daten.

Hinsichtlich der Verwaltungskompetenzen hat sich gezeigt, dass Bundesbehörden wie z. B. das UBA oder die BGR in der Datennutzung als Dritte gelten und keinen uneingeschränkten Zugang haben. Ferner hat die BGR eine forschungsorientierte Ausrichtung und ist nicht maßgebend an der Datenhaltung von Geodaten beteiligt. Im Sinne des KSpG könne man in Zukunft versuchen, Daten der einzelnen SGD abzurufen, um aus diesen ein Gesamtdeutsches Untergrundmodell zu erstellen (Gespräche: LBEG, BGR). Ein solches Untergrundmodell, welches erstmals auch eine genaue Einordnung von Nutzungspotentialen in unterschiedlichen geologischen Strukturen erlauben würde, ist insbesondere für die Betrachtung stockwerkweiser Nutzungen notwendig. Dabei ist allerdings zu beachten, dass auch die SGD die Daten selbst nicht uneingeschränkt benutzen bzw. veröffentlichen dürfen. Dem stehen die Rechte der Dateneigentümer entgegen. Deshalb können die auf der Grundlage der bei den SGD vorliegenden Daten erstellten Modelle nur mit Zustimmung der Dateneigentümer veröffentlicht werden. Weiterhin wurde deutlich, dass es keine zentrale Datenverwaltung gibt, sondern Daten primär bei den SGD bzw. in deren Auftrag beim Kohlenwasserstoffverbund liegen bzw. in Fachinformationssystemen aufgearbeitet wurden. Dabei beschränkt sich der Zugang in Fachinformationssystemen meist auf weiterverarbeitete und interpretierte Daten mit teilweise eingeschränkter Genauigkeit bzw. räumlicher Auflösung. Primärdaten werden aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht frei zugänglich gemacht, deren Besitzer können aber für einen eventuellen Datenkauf abgerufen werden (Gespräche: LBEG, LIAG).

In allen Gesprächen zeigte sich, dass die Nutzung von Daten allgemein durch die Wahrung von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen geschützt ist. Hier gab es laut allen Experten derzeit nur den Weg des offiziellen Datenkaufs bzw. der bilateralen Einigung.

Ein Ansatzpunkt, der bereits erfolgreich beim System GeotIS verfolgt wurde, besteht darin, die von den geologischen Fachexperten entwickelten Modelle in ihrer Auflösung so zu beschränken, dass die Primärinformationen nicht in einer für Projektentwicklungen notwendigen Detailschärfe recherchiert werden können. Wird ein solcher Weg verfolgt, so ist die Zustimmung der Dateneigentümer zu einer Veröffentlichung wahrscheinlicher. Daraus ergibt sich, dass die entstandenen Modelle nur auf der Teilmenge der Daten beruhen können, für die die Zustimmung zur Nutzung von den Eigentümern für den genannten Zweck und den genannten Einschränkungen vorliegt. Damit könnte die unterir-

dische Raumplanung auf der Grundlage von Modellen mit geringer Genauigkeit durchgeführt werden.

Es zeigte sich auch eine Wiederholung zu Aussagen hinsichtlich der Möglichkeiten der unterirdischen Raumplanung. Unabhängig voneinander erklärten die Experten, dass eine unterirdische Raumplanung ohne ein ausreichend detailliertes Modell aufgrund der hohen inhaltlichen Anforderungen flächendeckend kaum möglich sei. Hier werden umfangreiche Untergrunddaten benötigt, um die tatsächliche Machbarkeit von Nutzungen zu untersuchen. Die Daten müssten in Rohdatenform vorhanden sein, da Berichte immer eine Form der Interpretation darstellen und Aussagen subjektiv verzerren könnten. Weiterhin sahen die Experten Probleme hinsichtlich der Machbarkeit; aus den gesammelten Daten müssten geologische Modelle durch Geologen erstellt werden, um diese dann später für die Raumplanung zu interpretieren und zugänglich zu machen. Dafür müsse eine geologische Expertise auf Planungsebene angesiedelt sein.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Datenlage für eine unterirdische Raumplanung in solchen Regionen gegeben ist, deren geologischer Untergrund bereits intensiv genutzt wurde oder zumindest genutzt werden sollte. Darüber hinaus existieren für ausgewählte Nutzungen (Speicherung, Trinkwassernutzung, Geothermie) auch umfangreiche Potentialkarten, welche mit in eine unterirdische Raumplanung einfließen können.

7.4 Darstellung

Nachdem die Verfügbarkeit der Geodaten recherchiert und diskutiert wurde, wurden im letzten Arbeitspaket Möglichkeiten der Visualisierung dieser Daten dargelegt.

Dazu wurden zunächst grundlegende Prinzipien der 3D-Modellierung diskutiert und dargelegt, auf welche Weise ein dreidimensionaler Nutzungsraum definiert werden kann. Es kommen dafür eine Reihe unterschiedlich komplexer Methoden in Frage. Es wird empfohlen, die Nutzungsräume möglichst detailliert abzugrenzen. Zwar stellt dies gegenüber der Abgrenzung durch einfache Körper wie Quader eine Erhöhung des Aufwandes dar, jedoch kann der unterirdische Raum so besser ausgenutzt werden.

Das erfordert, dass die potenziellen Nutzungsräume durch den geologischen Fachexperten in Form von 3D-Modellen erarbeitet werden müssen. Diese Modelle bilden die Schnittstelle zu den Raumplanern. Daraus resultiert, dass auch die Raumplaner die geometrische Bearbeitung zukünftig ebenfalls unter Nutzung von 3D-Software durchführen sollten.

Für die Datenspeicherung wird empfohlen, diese möglichst softwareunabhängig durchzuführen. Da es derzeit noch keine einheitlichen Standards für die softwareunabhängige Speicherung von 3D-Modellen gibt, müssen hier Kompromisse eingegangen werden. So kann die softwareunabhängige Speicherung in Form von Rasterdaten bzw. Grids erfolgen. Dabei werden die z-Werte von Ober- bzw. Unterkanten und Mächtigkeiten für regelmäßige Raster (im ASCII-Format) abgelegt. Damit werden Flächen im 3D-Raum eindeutig definiert. Diese können bspw. in Geoinformationssystemen betrachtet und bearbeitet werden. Für komplexere Strukturen sind hierzu jedoch Kompromisse notwendig. Allgemeine, Formate zur softwareunabhängigen Speicherung von 3D-Körpern befinden sich noch in der Entwicklung.

Hinsichtlich der Darstellung und Dokumentation der Ergebnisse außerhalb der 3D-Modelle kann unterschieden werden zwischen 2D-Darstellungen in Form von Karten (bspw. Potenzialkarten) oder Vertikalschnitten und Screenshots von 3D-Modellen. Die 2D-Darstellungen enthalten exakte Informationen. Der Nachteil besteht darin, dass es damit schwierig ist, räumliche Lagebeziehungen zu analysieren. Demgegenüber können Screenshots aus 3D-Modellen die 3D-Geometrie sehr gut veranschaulichen. Allerdings wird darin die Information nicht exakt abgebildet (aus einer solchen Abbildung kann die Information in Form von x, y- und z-Werten von Punkten oder Flächen nicht wieder entnommen werden).

Zusammenfassend bedeutet dies, dass zwischen der Bearbeitung und der Darstellung zu unterscheiden ist. Die Bearbeitung der 3D-Geometrien sollte sowohl vom geologischen Fachexperten als auch vom Raumplaner innerhalb einer 3D-Software erfolgen. Die Ergebnisse sind als 3D-Information zu speichern und weiterzugeben. Eine Darstellung kann entweder in Form von 2D-Potenzialkarten und 2D-Vertikalschnitten oder in Form von Screenshots aus 3D-Modellen erfolgen. Dabei enthalten die Potenzialkarten die exakte Information während die Screenshots lediglich zur Veranschaulichung dienen können.

8 Bewertung

Bezüglich der Schnittstelle zwischen geologischen Fachexperten und Raumplanung wird festgehalten, dass es zielführend ist, wenn sich der Raumplaner nicht mit geologischen Fachfragen auseinanderzusetzen hat. Deshalb sollte er als Grundlage für seine Arbeit über Informationen zur Lage (=dreidimensionale Körper) von potenziellen Nutzungsräumen für die unterschiedlichen Nutzungen im dreidimensionalen unterirdischen Raum verfügen. Dabei sind die Nutzungsräume abhängig von der Geologie und der Art der Nutzung so zu definieren, dass die Auswirkungen außerhalb (bspw. in anderen Stockwerken) und an der Erdoberfläche akzeptabel sind. Neben dem bestimmungsgemäßen Betrieb sind hierbei auch Auswirkungen des nicht bestimmungsgemäßen Betriebes insofern zu berücksichtigen, dass damit Nutzungen komplett ausgeschlossen werden können.

Diese dreidimensionalen Körper, die die potenziellen Nutzungsräume für jede mögliche Nutzung definieren, können entweder auf der Grundlage dreidimensionaler von Fachexperten bewerteter Modelle oder in Form von Potenzialkarten geeignet bereitgestellt werden. Die potenziellen Nutzungsräume werden sich dabei für diejenigen Nutzungen, die in Nutzungskonkurrenz stehen, teilweise oder ganz überdecken. Dabei kann von Seiten des geologischen Fachexperten lediglich eingeschätzt werden, ob bestimmte Nutzungen bei der Betrachtungstiefe grundsätzlich möglich sind (Deshalb wird der Begriff potenzielle Nutzungsräume verwendet.). Dabei sollte auch eine Einschätzung zur möglichen Quantität der Nutzung (speicherbare Mengen, gewinnbare Rohstoff- oder Energiemengen, etc.) erfolgen. Diese Einschätzungen sind in jedem Fall mit einer großen Unsicherheit verbunden. Potenziale können anhand der Datenlage aufgezeigt werden. Eine Priorisierung von Nutzungen kann nur von Seiten des Raumplaners, unter Berücksichtigung der weiteren Rahmenbedingungen erfolgen.

Bei einer derartigen Definition der Schnittstelle müssen vom geologischen Fachexperten die entsprechenden potenziellen Nutzungsräume, d. h. die dreidimensionalen Körper für die möglichen Nutzungen erarbeitet werden. Dazu werden die in Kapitel 5.3 beschriebenen Geodaten als Grundlage benötigt. In welcher Detailschärfe diese Daten notwendig sind, bedarf noch intensiver Untersuchungen und Forschungen. Je detailliertere Daten verwendet werden, desto belastbarer sind die entstehenden Modelle und Potenziale. Allerdings wächst mit der Detailliertheit auch der Bearbeitungsaufwand. Außerdem kann ein Teil der detaillierten Daten aufgrund von Privatrechten nicht uneingeschränkt genutzt werden.

Um die Frage zu beantworten, bei welchen Behörden die einzelnen für die unterirdische Raumplanung relevante geologischen Daten vorliegen, haben die Recherchen eine sehr heterogene Verteilung gezeigt. Für die unterirdische Raumplanung relevante Daten liegen vorrangig bei den SGD der Länder, da hier entsprechend dem Lagerstättengesetz eine Berichtspflicht besteht. Daten des Berg- und Hüttenwesens liegen bei den Bergämtern vor. Weiterhin können projektbezogene Geodaten bei geowissenschaftlichen Einrichtungen Deutschlands liegen (LIAG und BGR), diese sind aber meist weiterverarbeitet (i.S.v. interpretiert) und durch Urheberrechte geschützt. Für eine Nutzung ist die Zustimmung des Dateneigentümers erforderlich.

Auf die Frage in welchem Format und Maßstab die Daten vorliegen zeigt sich, dass ältere Daten, wie Bohrungsdaten oder Seismik meist in analoger Form verfügbar sind (Papierform). Neuere Daten werden digital gehalten. Die zuständigen Behörden haben Systeme und Formate zur Übermittlung entwickelt, wo zumindest länderspezifisch eine Kompatibilität der Daten möglich ist. Dabei sind die Maßstäbe unterschiedlich, beispielsweise sind geologische Übersichtskarten großmaßstäblich verfügbar (z. B. M 1 : 400.000 oder M 1 : 250.000). Die geologischen Karten, welche beispielsweise zur Modellierung verwendet werden, liegen in Maßstäben 1 : 25.000 bis 1 : 50.000 vor. Bohrungsdaten sind projektbezogen bzw. einzelfallbezogen und beziehen sich auf kleine Maßstäbe. Wenn Werte mehrerer Bohrungen regionalisiert werden, können Informationen über flächenhaft größere Räume beispielsweise unter zusätzlicher Nutzung reflexionsseismischer Daten interpoliert werden und erlauben somit ausgehend von kleinen Maßstäben, Rückschlüsse auf Strukturen und damit flächenhaft größere Gebiete.

Über die Frage der Kompatibilität der Daten kann gesagt werden, dass grundsätzlich alle Daten miteinander kompatibel sind. Sie liegen jedoch oft in unterschiedlichen Formaten vor, was einer simplen Zusammenführung entgegensteht. Analoge Daten müssten in jedem Fall digitalisiert werden. Für den raumplanerischen Abwägungsprozess ist ein enges Zusammenspiel von der Datengrundlage und Auswertung sowie dem anschließenden Raumplanungsvorgang essentiell. Dafür sind geologische Modelle des Untergrundes besonders wichtig. Diese ermöglichen unter Einbeziehung geologischer Expertise die räumliche Darstellung von Nutzungen und erlauben die Nutzungskonkurrenzen und Nutzungsmöglichkeiten zu visualisieren. Zu diesem Zweck wurde im 4. Abschnitt der Begriff des Nutzungsraumes eingeführt.

In sich stellt diese Untersuchung von unterirdischen Nutzungsmöglichkeiten eine Datengrundlage für den eigentlichen Abwägungsprozess in der Raumplanung dar. Die potenziellen Nutzungsräume sind für alle denkbaren Nutzungen vom geologischen Fachexperten zu erarbeiten und entweder als 3D-Modelle (Empfehlung) oder als Potenzialkarten zu übergeben. Dabei müssen die Daten so beschaffen sein, dass eine nachvollziehbare Bewertung von geometrischen, geochemischen, geohydraulischen und geomechanischen Prozessen möglich ist. Dazu ist es erforderlich, dass bei der Modellerstellung die Primärdaten nutzbar sind.

Wie in den Kapiteln 3 und 4 verdeutlicht wurde, kann durch die geologische Bearbeitung und Bewertung lediglich dargestellt werden, welche Nutzungen in welchen Untergrundbereichen grundsätzlich machbar sind. Eine Priorisierung ist bei einer grundsätzlichen Machbarkeit aus geologischer Sicht nicht möglich, da diese von weiteren Faktoren, insbesondere politischen und ökonomischen abhängig ist. Diese Priorisierung ist Aufgabe der unterirdischen Raumplanung.

Die Frage der Zugänglichkeit der Daten kann generell damit beantwortet werden, dass Daten im Besitz ihrer Eigentümer bleiben. Insbesondere die Wahrung von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen steht einer Freigabe von Daten im Weg. Dies wurde durch die Expertengespräche als auch die Recherche der Gesetzesgrundlagen belegt. Hier ist auf das Geodatenzugangsgesetz, das Umweltinformationsgesetz und das Informationsfreiheitsgesetz zu verweisen. Um eine generelle Datenfreigabe zu erreichen, könnten alle Daten nach einer bestimmten Zeit frei zugänglich gemacht werden.

Die SGD haben Zugriff auf die Daten des jeweiligen Bundeslandes. Eine Verwendung der Daten ist jedoch nur für den internen Gebrauch uneingeschränkt möglich. Für die Veröffentlichung ist die Zustimmung der Dateneigentümer notwendig. Im Kohlenwasserstoffverbund gibt es einen internen Datenaustausch, hier können alle Mitglieder auf einen Datenpool zugreifen. Aufgrund der hohen Datendichte liegen hier prinzipiell gute Voraussetzungen für eine unterirdische Raumplanung vor.

Die Daten der SGD müssten den Planungsverbänden zur Verfügung stehen, insofern ein gesetzlicher Auftrag besteht. Da letztere Körperschaften des öffentlichen Rechts sind, bekommen Planungsverbände Zugang. Bezugnehmend auf die Frage welche Vorschriften der Nutzung der Daten und insbesondere der Veröffentlichung entgegenstehen zeigt sich, dass hier der Sachverhalt des Eigentumsrechts bzw. die Wahrung von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen einer unmittelbaren Freigabe der Daten entgegensteht.

Um dieses Problem zu lösen, bestehen aus der Sicht der Autoren die folgenden Ansätze:

1. Zeitliche Beschränkung des Privateigentums an Geodaten aufgrund des vorwiegenden öffentlichen Interesses. Damit würden die privat erhobenen Daten nach einer Zeit von bspw. drei bis fünf Jahren (diese Zeiträume müssen sich an die typischen Zeiträume für Projektentwicklungen im tiefen Untergrund orientieren) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Damit wären nach Ablauf dieser Zeit die Daten für eine unterirdische Raumplanung nutzbar. Diese Vorgehensweise wird international teilweise praktiziert, u. a. in Kanada, Polen und den Niederlanden.
2. Verwendung von allen frei verfügbaren Daten mit Zustimmung der Dateneigentümer. Dabei sollten analog zum Speicherkataster, zum geothermischen Informationssystem GeotIS oder zu vorhandenen Rohstoffkarten die Informationen mit einer solchen geringen Detailschärfe bereitgestellt werden, dass die Primärdaten nicht recherchiert werden können. Die Zustimmung der Dateneigentümer zu einer solchen Vorgehensweise analog zu den o. g. Beispielen wird als eher wahrscheinlich eingeschätzt.

Während der erste Ansatz einer rechtlichen Prüfung unterzogen werden müsste, ist die Machbarkeit des zweiten Ansatzes durch die genannten und auch anhand weiterer Beispiele belegt; daher kann er einfacher umgesetzt werden.

Um eine Grundlage für die stockwerksweise unterirdische Raumplanung zu schaffen ist es notwendig, dass für alle derzeit denkbaren Nutzungen entsprechende dreidimensionale Modelle analog zu den o. g. Beispielen in Form von potenziellen Nutzungsräumen erstellt und den Raumplanern als Arbeitsgrundlage zur Verfügung gestellt werden. Dies scheint zumindest für die meisten Nutzungen insofern möglich, da für viele Nutzungen vergleichbare Datengrundlagen notwendig sind.

Allerdings stellt sich die Frage einer Umsetzung. Für die Erstellung der 3D-geologischen Modelle sind umfangreiche Datenanalysen und Berechnungen notwendig. Hierfür müssen Rohdaten aggregiert, analysiert und interpretiert werden. Dies kann nur durch geologische Fachexperten geschehen (s. o.). Das Ergebnis dieser Arbeiten sind potenzielle Nutzungsräume. Diese können als 3D-Modelle oder in Form von Potenzialkarten für einzelne Nutzungen für die Raumplaner zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die für die einzelnen Nutzungen in Anspruch genommenen geologi-

schen Räume unterscheiden können. Mit anderen Worten müssen die Nutzungsräume der jeweiligen Nutzung angepasst werden. Dies ermöglicht dem Raumplaner Möglichkeiten einer stockwerksweisen Nutzung oder deren Ausschluss zu bewerten. Da es eine Reihe von Nutzungskonkurrenzen gibt, werden sich die Nutzungsräume der entsprechenden Nutzungen im dreidimensionalen Raum ganz oder teilweise überlappen.

Insgesamt wird eingeschätzt, dass zumindest bezogen auf einzelne Regionen, eine unterirdische Raumplanung möglich ist. Für einzelne Regionen existieren bereits nutzbare Potenzialkarten bzw. auch dreidimensionale Untergrundmodelle. Letztere müssten allerdings noch unter dem Blickwinkel der unterschiedlichen Nutzungen wiederum von geologischen Fachexperten ausgewertet werden. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass meist eine hohe Datenunsicherheit vorliegt. Ausnahmen stellen in der Regel nur oberflächennahe Nutzungen dar, oder solche Bereiche, die aufgrund vorgesehener oder stattgefundener Nutzungen sehr gut erkundet sind. **Damit kann die tatsächliche Machbarkeit einer Nutzung häufig nur auf der Grundlage von Detailerkundungen, d. h. erst auf Projektebene, nachgewiesen werden.** Beim vorausschauenden Ansatz der Raumplanung müssen diese Unsicherheiten berücksichtigt werden.

Es existieren auch für weitere Nutzungsarten und Regionen die Daten, die für die Erstellung der entsprechenden Potenzialkarten oder dreidimensionalen Modelle nutzbar sind. Wie sich anhand der erfolgreich umgesetzten Potenzialkarten zeigt (s. o.), können diese anhand frei verfügbarer Daten und auf der Grundlage von im Privatbesitz befindliche Daten (bei entsprechenden Vereinbarungen zur Nutzung) erstellt werden. Es wird eingeschätzt, dass die bereits vorhandenen Potenzialkarten für die unterirdische Raumplanung genutzt werden können. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Informationen zu den geologischen Strukturen hohe Unsicherheiten aufweisen. Dies muss bei der Unterirdischen Raumplanung insofern beachtet werden, dass die raumplanerischen Vorgaben ausreichend Spielräume für alternative Nutzungen offenlassen, falls sich der Erkenntnisstand ändert.

Die Grundlagen für die unterirdische Raumplanung können schrittweise, d. h. für einzelne Regionen erarbeitet werden. Als kritisch werden hierbei sowohl von den interviewten Fachexperten sowie von den Autoren einerseits die Zugriffsmöglichkeiten auf die privaten Daten und andererseits die notwendigen Ressourcen an geologischer Fachexpertise zur Erstellung der für die unterirdische Raumplanung notwendigen interpretierten Modelle oder Potenzialkarten eingeschätzt. Unter diesem Blickwinkel ist es für die unterirdische Raumplanung auch relevant, dass aufgrund der für bestimmte Nutzungen benötigten geologischen Strukturen, manche Nutzungen in einigen Bundesländern über große Bereiche ausgeschlossen werden können. Diese Einschätzung kann von den geologischen Fachexperten der SGD getroffen werden.

9 Gesamtfazit

Insgesamt zeigt sich, dass die unterirdische Raumplanung geologische Bewertungsmaßstäbe integrieren muss. Wie im Bericht aufgezeigt, gibt es unterschiedliche Strukturen und Nutzungen die im Untergrund selbst (bezogen auf Stockwerke sowie Strukturen) oder mit Nutzungen an der Oberfläche konkurrieren.

Um mögliche Wirkungen von Nutzungen abzuschätzen, wurden die Begriffe Nutzungsraum und Projektraum eingeführt. Deren räumliche Lage und Größe wird zunächst von den geologischen Fachexperten unter Berücksichtigung der Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes für alle möglichen Nutzungen in Form von potenziellen Nutzungsräumen erarbeitet. Der nicht bestimmungsgemäße Betrieb wird in Risikoanalysen untersucht und kann dazu führen, dass bestimmte Nutzungen auszuschließen sind.

Die Datenlage zu Geodaten ist sehr heterogen in Deutschland. Vorrangig liegen geologische Daten bei den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder. Ausnahmen stellen Datenpools mit aggregierten Daten bzw. Datenportale dar. Diese werden auf der Grundlage von Abkommen zwischen den Bundesländern betrieben und ermöglichen einen nutzergruppenspezifischen Zugang. Grundsätzlich sind sehr viele Daten über den Untergrund in verschiedenen Formen vorhanden. Auch aus nicht vorhandenen Datensätzen lässt sich beispielsweise für bestimmte Gebiete ableiten, dass Nutzungen aufgrund geologischer Gegebenheiten nicht möglich sind.

Einschränkend kommt hinzu, dass eine Vielzahl von Daten nicht frei zugänglich ist und bei Weitergabe der Zustimmung der Dateneigentümer bedarf. Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen wurde eine Erarbeitung potenzieller Nutzungsräume in Form von 3D-Modellen durch die geologischen Fachexperten vorgeschlagen. Die Ergebnisse können direkt in Form von Modellen oder in Form von Potenzialkarten an die Raumplaner weitergegeben werden. Grundsätzlich ist sowohl für die potenziellen Nutzungsräume als auch für das Ergebnis der Raumplanung, die Nutzungsräume eine softwareunabhängige Speicherung der Daten zu empfehlen. Außerdem wird empfohlen, die Nutzungsräume geometrisch möglichst detailliert abzubilden, um den unterirdischen Raum bestmöglich auszunutzen.

Für die Festlegung von Vorranggebieten muss der für die Nutzung vorgesehene Nutzungsraum (im Sinne einer geologischen Struktur) so gut erkundet sein, dass auf Planungsebene eine ordnungsgemäße Abwägung möglich ist. Hierbei ist zu beachten, dass für oberflächennahe Nutzungen in der Regel eine bessere Datengrundlage vorhanden ist, während die Datenlage für tiefere Strukturen schlechter ist.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Frage, in welcher Detailliertheit die 3D-Modelle und damit auch deren Datengrundlage für die unterirdische Raumplanung notwendig sind. Je detaillierter die Informationen sind, desto höher ist die Planungssicherheit, allerdings steigt damit auch der Aufwand. Außerdem steht die Frage der Nutzbarkeit detaillierter Daten, die sich in Privatbesitz befinden, häufig einer Erarbeitung detaillierter 3D-Modelle entgegen. Deshalb wird im weiteren Verlauf empfohlen die Aussagen aus den Teilvorhaben 1 und 2 in der Praxis mit einem Modellvorhaben zu testen. Hier könnten die Möglichkeiten und Hindernisse, welche die unterirdische Raumplanung betreffen getestet und gezielt aufgezeigt werden.

10 LITERATURVERZEICHNIS

- Baisch, S., Carbon, D., Dannwolf, U., Delacou, B., Devaux, M., Dunand, F., et al. (2009). *Deep Heat Mining Basel - Seismic Risk Analysis*. Basel: Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt.
- Baldschuhn R., Binot F., Fleig S. & Kockel F. (2001) Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor. – Geologisches Jahrbuch, A 153, pp. 95, Schweizerbart, Stuttgart.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2012)
- Beck, H. P. und Schmidt, M. (2011), Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke, Universitätsbibliothek Clausthal, Clausthal
- BGR (2011) Die Geologischen Dienste der Bundesrepublik Deutschland, online:
http://www.bgr.de/geol_la/geol_la.htm (Zugriff: 08.03.2013).
- BGR (2012) Geodatenkatalog, online: <http://geodak.geozentrum-hannover.de/> (Zugriff: 07.12.12).
- BGR (o. J. 1) Aufgaben und Themenfelder, online:
http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/UeberUns/Aufgaben/aufgaben_node.html (Zugriff: 07.12.12)
- BGR (o. J. 2) Deutsche Rohstoffagentur, online: http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Home/dra_node.html (Zugriff: 29.04.2013).
- BGR (o. J. 3) Geodatenmanagement, online:
http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Geodatenmanagement/geodatenmanagement_node.html (Zugriff: 07.12.12)
- BIS Bayern (2013 b) Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (IOG), online:
http://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie_iog/index.htm (Zugriff: 29.04.2013).
- BIS Bayern (2013) GeoFachdatenAtlas/Bodeninformationssystem, online:
<http://www.bis.bayern.de/bis/initParams.do;jsessionid=8044057BC044B9A1907839C66D651385> (Zugriff: 05.03.2013).
- Blöcher, G. et al. (2012), Hintergrundpapier zur Stimulation geothermischer Reservoirs, GtV
- European Commission (o. J.) INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in the European Community, online: <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm> (Zugriff: 11.03.2013).
- FIZ Karlsruhe GmbH – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur (Hrsg.) (2011) Tiefer Erdwärme auf der Spur, Projektinfo 09/2011. pp. 4.
- Franke, et al. (o. J.), Der Komplex Riese, online:
http://www.riese.krzyzowa.org.pl/text/de/de_compendium.pdf (Zugriff: 04.12.2012).
- GeoSN - Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (o. J.) Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen (GK50) und Lithofazieskarte Quartär (LKQ50), online:
(<http://www.landesvermessung.sachsen.de/inhalt/produkte/karten/geol/v-geol/gk50.html>) (Zugriff: 08.03.2013).

- GeotIS: Geothermische Potentiale "SCHULZ, R., AGEMAR, T., ALTEN, A.-J., KÜHNE, K., MAUL, A.-A., PESTER, S. & WIRTH, W. (2007): Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland. - Erdöl Erdgas Kohle 123, 2: 76-81; Hamburg."
- GeotIS: Geothermische Standorte "PESTER, S., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2007): Verzeichnis geothermischer Standorte - Geothermische Anlagen in Deutschland auf einen Blick - Geothermische Energie 56/57: 4-8."
- Gerling, J. (2010), Unterirdische Speicherpotenziale (Gas, H₂, Druckluft) In Forum Netzintegration DUH, 22.
- hcw. (17. 7 2009). *Schäden summieren sich auf 41 Millionen Euro*. Abgerufen am 01. 02 2013 von Badische Zeitung: <http://www.badische-zeitung.de/staufen/schaeden-summieren-sich-auf-41-millionen-euro>
- InfoGEO - Staatlich Geologische Dienste (o. J.) online: www.infogeo.de (Zugriff: 05.12.2012).
- IVG Caverns (2011), Kavernenspeicher Etzel, Die Alchimisten GmbH, Oldenburg
- Jodocy M. and Stober I. (2010), Porositäten und Permeabilitäten im Oberrheingraben und Südwestdeutschen Molassebecken., Freiburg.
- Kampke, A. (2008), Druckluftspeicher, *Energie 1/2008*
- Keilen, K., Robrecht, W., & Bode, T. (2010). *Das seismische Ereignis bei Landau vom 15. August 2009*. Hannover.
- Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. (2013). Hydrogeologische Spezialkarte 1:50.000 (HyK50). Abgerufen am 14. Juli 2013 von <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/8010.htm>
- LBEG (2011), Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. Erdöl Erdgas Kohle **127**, 414 – 424.
- LBEG (2012) Merkblatt über den Zugang zu Daten der deutschen Erdöl- und Erdgas-Industrie im LBEG-Hannover, pp. 26.
- LBEG (2013 a) Geologische Fachdaten, online: http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=605&article_id=623&psmand=4 (Zugriff: 08.03.2013).
- LBEG (2013 b) NIBIS® Kartenserver, online: http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=600&article_id=72321&psmand=4 (Zugriff: 08.03.2013).
- LBEG (2013 c) Bohrdatenbank Niedersachsen, online: http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=610&article_id=647&psmand=4 (Zugriff: 08.03.2013).
- LBEG (2013 d) Der Geotektonische Atlas als 3D-Modell (GTA3D), online: http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=669&article_id=839&psmand=4 (Zugriff: 08.03.2013).
- LfU (2013 a) Sonderkarten Regional, online: http://www.lfu.bayern.de/geologie/geo_daten/sonderkarten_regional/index.htm (Zugriff: 04.03.2013).

LfU (2013 b) Geologische Karte 1:25.000, online:

http://www.lfu.bayern.de/geologie/geo_daten/gk25/index.htm (Zugriff: 04.03.2013).

LfU (2013 c) 3D-Modelle, online: http://www.lfu.bayern.de/geologie/3d_modelle/index.htm (Zugriff: 04.03.2013).

LfULG – Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (o. J. 6) Geothermische Karte, online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/26631.htm> (Zugriff: 06.12.12).

LfULG - Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie o. J.) Geologische Karten 1:25.0000,

Online: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/8162.htm> (Zugriff: 29.04.2013).

LfULG (2012) in LfULG (o. J. 6) Projekt Sachsen 3D, online.

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/9798.htm> (Zugriff: 05.03.2013).

LfULG (o. J. 2) Karten der eiszeitlich bedeckten Gebiete (GK50dig, 1994 bis 1999), online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/7711.htm> (Zugriff: 08.03.2013).

LfULG (o. J. 3) Lithofazieskarten Quartär (LKQ 50), online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/8618.htm> (Zugriff: 08.03.2013).

LfULG (o. J. 4) Lithofazieskarten Tertiär (LKT 50), online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/7708.htm> (Zugriff: 08.03.2013).

LfULG (o. J. 5) Geologische Karten 1 : 100.000 (GK 100), online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/8749.htm> (Zugriff: 08.03.2013).

LfULG (o. J. 7) Rohstoffgeologische Spezialkarten, online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/7707.htm> (Zugriff: 29.04.2013).

LfULG (o. J. 8) Geothermische Karte, online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/26631.htm#article26640> (Zugriff 29.04.2013).

LfULG (o. J. 9) Projekt Sachsen 3D, online.

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/9798.htm> (Zugriff: 05.03.2013).

LfULG - (o. J. 10) Geologische Aufschlüsse in Sachsen, online:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/16833.htm> (Zugriff: 29.04.2013).

LIAG - Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (2013) Fachinformationssystem Geophysik, Stand

04/2013, online: https://www.fis-gp-appl.liag-hannover.de/app/fis_gp/index.php (Zugriff: 29.04.2013)

Mineralienatlas (2012),

<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Deutschland/Sachsen/Dresden,%20Direktionsbezirk/S%C3%A4chsischer%20Schweizer-Ostgebirge/Altenberg?lang=en&language=english>

Niemann, A. (2011), Machbarkeitsstudie zur Nutzung von Anlagen des Steinkohlebergbaus als Pumpspeicherwerke

Paschen H., et al (2003), Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland, TAB-Report 84.

Pohl, W. (1992), W. & W. E. Petrascheck's Lagerstättenlehre, E. Schweizerbart'sche Buchhandlung, Stuttgart

Ruch, C. (2010). *Sachstandsbericht zur Erkundung und Sanierung des Schadensfalls Staufen.*

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Landesingenieurgeologie, Freiburg.

RWE Power AG (2010), ADELE – Der adiabate Druckluftspeicher für die Elektrizitätsversorgung, Spohr's Büro für Kommunikation, Köln

Schmidt, W. (2011) Der Anfang des Bergbaus in Mühlheim, online:
www.mausegatt.org/bergbau/bergbau.htm (Zugriff: 04.12.12).

SMWA- Sächsisches Ministerium Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (2012) Übersichtskarte über die Gebiete mit unterirdischen Hohlräumen, online:
http://www.smwa.sachsen.de/de/Grossbild/99639.html?referer=99640&template=html_pgfl_image_xxl (Zugriff: 04.12.12).

USGS (2012) <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=fault>

ZEIL, W.: (1980) Brinkmanns Abriss der Geologie, erster Band: Allgemeine Geologie. 12. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1980

Verwendete Richtlinien und Gesetze

Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz) – LagerStG, Ausfertigungsdatum 04.12.1934, in der Fassung vom 10.11.2001.

Bundesberggesetz in der Ausfertigung vom 13.08.1980

Umweltinformationsgesetz – UIG, in der Fassung vom 22.12.2004

Informationsfreiheitsgesetz in der Ausfertigung vom 05.09.2005

Richtlinie 2007/2/EG vom 14. März 2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE)

Geodatenzugangsgesetz in der Ausfertigung vom 10.02.2009, Geändert durch Art. 1 G v. 7.11.2012

Anlage 1

Mögliche Nutzungen nach Struktur und relevanten Kriterien

			Nutzbare geologische Strukturen							
			strukturunabhängiger Untergrund	Aquifer (frei)	Aquifer (abgedeckt)	konventionelle Gas/Ölvorkommen	unkonventionelle Gas/Ölvorkommen	mineralische Rohstoffvorkommen	Kohlenflöze	Salzstöcke und stratiforme Salzlagerstätten
Nutzungen	Speicherung	Gasspeicherung CH ₄ /H ₂ , Druckluft			Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle	Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle			Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer	Größe der Kaverne Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer
		Carbon Dioxide Storage and Capture (CCS)			Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle	Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle			Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer	Größe der Kaverne Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer
	Ablagerung	Untertage-Deponie Endlager	Größe der Kaverne Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer		Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle	Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle		Größe der Kaverne Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer		Größe der Kaverne Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer
		Soleverpressung / -versenkung			Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle	Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle				Größe der Kaverne Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer
		Grundwassernutzung		Permeabilität Porosität Mächtigkeit Fluidqualität	Permeabilität Porosität Mächtigkeit Fluidqualität					
	Gewinnung	offene flache Geothermie und Wärmespeicher		Permeabilität Porosität Mächtigkeit Fluidqualität	Permeabilität Porosität Mächtigkeit Fluidqualität					
		geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher								

		Nutzbare geologische Strukturen							
		strukturunabhängiger Untergrund	Aquifer (frei)	Aquifer (abgedeckt)	konventionelle Gas/Ölvorkommen	unkonventionelle Gas/Ölvorkommen	mineralische Rohstoffvorkommen	Kohlenflöze	Salzstöcke und stratiforme Salzlagerstätten
	Hydrothermale Geothermie		Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Temperatur Mächtigkeit Reservoir	Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Temperatur Mächtigkeit Reservoir					
	Petrothermale Geothermie	Temperatur Stimulierbarkeit Stabilisierbarkeit					Temperatur Stimulierbarkeit Stabilisierbarkeit		
	konventionelle Öl- und Gasförderung				Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Strukturelle Falle Fluidqualität				
	unkonventionelle Öl- und Gasförderung					Permeabilität Reservoir Porosität Reservoir Druck/Temperatur Mächtigkeit Reservoir Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer Stimulierbarkeit Fluidqualität		Permeabilität Druck/Temperatur Mächtigkeit Fluidqualität	
	Abbau fester Rohstoffe / Fluidbergbau						Lagerstättengröße Qualität fester Rohstoffe	Lagerstättengröße Qualität fester Rohstoffe	Lagerstättengröße Qualität fester Rohstoffe
	Untertagevergasung von Kohle							Lagerstättengröße Qualität fester Rohstoffe Permeabilität Stauer Mächtigkeit Stauer	
	Unterirdische Bauwerke	Unterirdische Pumpspeicherwerke	Standsicherheit						
technische Bauwerke		Standsicherheit							

Anlage 2

Typen möglicher Beeinflussungen

		Erschließungs-konzept	Typen von Beeinflussung (bestimmungsgemäß / nicht bestimmungsgemäß)							
			Geochemisch		geomechanisch		geohydraulisch		geothermisch	
Speicherung	Gasspeicherung im Aquifer	Bohrungen	Ausbreitung von Gas im Aquifer, Verdrängung von Sole	Ausbreitung von Gas (und Sole) ins Nebengestein, Grundwasser oder Erdoberfläche	geringe Volumenzunahme des Aquifers resultiert in Hebung des Deckgebirges	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt	Druckänderungen im Reservoir durch Speichervorgänge	Schaffung hydraulischer Verbindungen	Temperaturänderung	keine
	Gasspeicherung in Kavernen	Bohrungen Kavernen	keine	Ausbreitung von Gas ins Nebengestein, Grundwasser oder Oberfläche	Keine	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt Bergschäden	Druckänderungen innerhalb der Kaverne durch Speichervorgänge	Schaffung hydraulischer Verbindungen	Temperaturänderung	keine
Ablagerung	Carbon Capture and Storage (CCS)	Bohrungen	Ausbreitung von CO ₂ im Aquifer, Verdrängung von Sole	Ausbreitung von CO ₂ ins Nebengestein, Grundwasser oder Oberfläche	Volumenzunahme des Aquifers resultiert in Hebung des Deckgebirges	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt induzierte Seismik	Druckzunahme im Reservoir	Schaffung hydraulischer Verbindungen	ggfs. geringe Abkühlung	keine
	Untertage-Deponie Endlager	konventionelle Hohlräume	keine	Beeinflussung und Kontamination von Grundwasser im Nebengestein	Keine	Einfluss auf Stabilität des Nebengesteins	keine	keine	ggfs. geringe Erwärmung	ggfs. Starke Erwärmung
	Soleverpressung / -versenkung	Bohrungen	Ausbreitung von Sole im Aquifer	Ausbreitung von Sole ins Nebengestein, Grundwasser oder Oberfläche	Volumenzunahme des Aquifers resultiert in Hebung des Deckgebirges	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt induzierte Seismik	Druckzunahme im Reservoir	Schaffung hydraulischer Verbindungen	Temperaturänderung	keine
Gewinnung	Grundwassernutzung	Bohrungen ggfs. Stimulation	keine	Ausbreitung von Wasser ins Nebengestein Reaktionen mit Nebengestein	Keine	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt induzierte Seismik	Druckabsenkung durch Entnahme	Schaffung hydraulischer Verbindungen	keine	keine
	offene flache Geothermie und Wärmespeicher	Bohrungen ggfs. Stimulation	ggfs. Einbringen von Luft in den verwendeten Aquifer	Ausbreitung von Wasser ins Nebengestein	Keine	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt induzierte Seismik	Druckveränderung	Schaffung hydraulischer Verbindungen	Temperaturänderung	Beeinflussung von Nachbarfeldern
	geschlossene flache Geothermie und Wärmespeicher	Bohrungen	keine	Keine	Keine	keine	keine	keine	Temperaturänderung	Beeinflussung von Nachbarfeldern

		Erschließungs-konzept	Typen von Beeinflussung (bestimmungsgemäß / nicht bestimmungsgemäß)							
			Geochemisch		geomechanisch		geohydraulisch		geothermisch	
	Hydrothermale Geothermie	Bohrungen ggfs. Stimulation	ggfs. Einbringen von Luft in den verwendeten Aquifer	Ausbreitung von Wasser ins Nebengestein Reaktionen mit Nebengestein	Keine	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt induzierte Seismik	Druckveränderung	Schaffung hydraulischer Verbindungen Beeinflussung von Nachbarfeldern	Großräumige Abkühlung	Beeinflussung von Nachbarfeldern
	Petrothermale Geothermie	Bohrungen Stimulation	ggfs. Einbringen von Luft in den verwendeten Aquifer	Chemische Interaktion des Arbeitsmediums mit Nebengestein und Anlagen	Keine	keine	Druckveränderung	keine	Großräumige Abkühlung	Beeinflussung von Nachbarfeldern
	koventionelle und unkonventionelle Öl- und Gasförderung	Bohrungen ggfs. Stimulation	Änderung der chemische Zusammensetzung des Porenfluids	Kontamination des Nebengesteins durch KW	Keine	Störungen erzeugt/reaktiviert induzierte Seismizität Setzungen	Druckabsenkung durch Entnahme	Schaffung hydraulischer Verbindungen	Temperaturänderung	keine
	Gewinnung fester Rohstoffe im konventionellen Bergbau	konventionelle Hohlräume	keine	Kontamination von Nebengestein, Grundwasser oder Oberfläche durch Abraum oder Grubenwasser	Keine	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt Bergschäden	Wasserspiegeländerung durch Wasserhaltung	Durch Wasserhaltung Beeinflussung Nachbarfelder Unfallgefahr durch Hochdruckzonen	lokale Veränderung des Temperaturfeldes durch Bewetterung und Wasserdynamik	keine
	Gewinnung fester Rohstoffe im Fluidbergbau	Bohrungen	keine	mögliche Kontamination Deckgebirge, Grundwasser oder Oberfläche durch Lösung	Keine	Störungen erzeugt/reaktiviert induzierte Seismizität Setzungen	Druckänderungen durch Lösungsmittel	keine	geringe Temperaturänderung	keine
	Untertage-Vergasung von Kohle	Bohrungen	keine	mögliche Kontamination von Grundwasser, Erdoberfläche oder Nebengestein durch Gase Ausbreitung des Brandes	Keine	Störungen erzeugt/reaktiviert induzierte Seismizität Setzungen	Druckzunahme im Flöz	Schaffung hydraulischer Verbindungen	lokale Temperaturerhöhung	unkontrollierte Starke Temperaturzunahme
	Unterirdische Bauwerke	Unterirdische Pumpspeicherwerke Technische Bauwerke	konventionelle Hohlräume	keine	Kontamination von Nebengestein, Grundwasser oder Oberfläche durch Abraum oder Grubenwasser	Keine	Störungen werden reaktiviert bzw. erzeugt Bergschäden	Wasserspiegeländerung durch Wasserhaltung	Durch Wasserhaltung Beeinflussung Nachbarfelder Unfallgefahr durch Hochdruckzonen	lokale Veränderung des Temperaturfeldes durch Bewetterung und Wasserdynamik

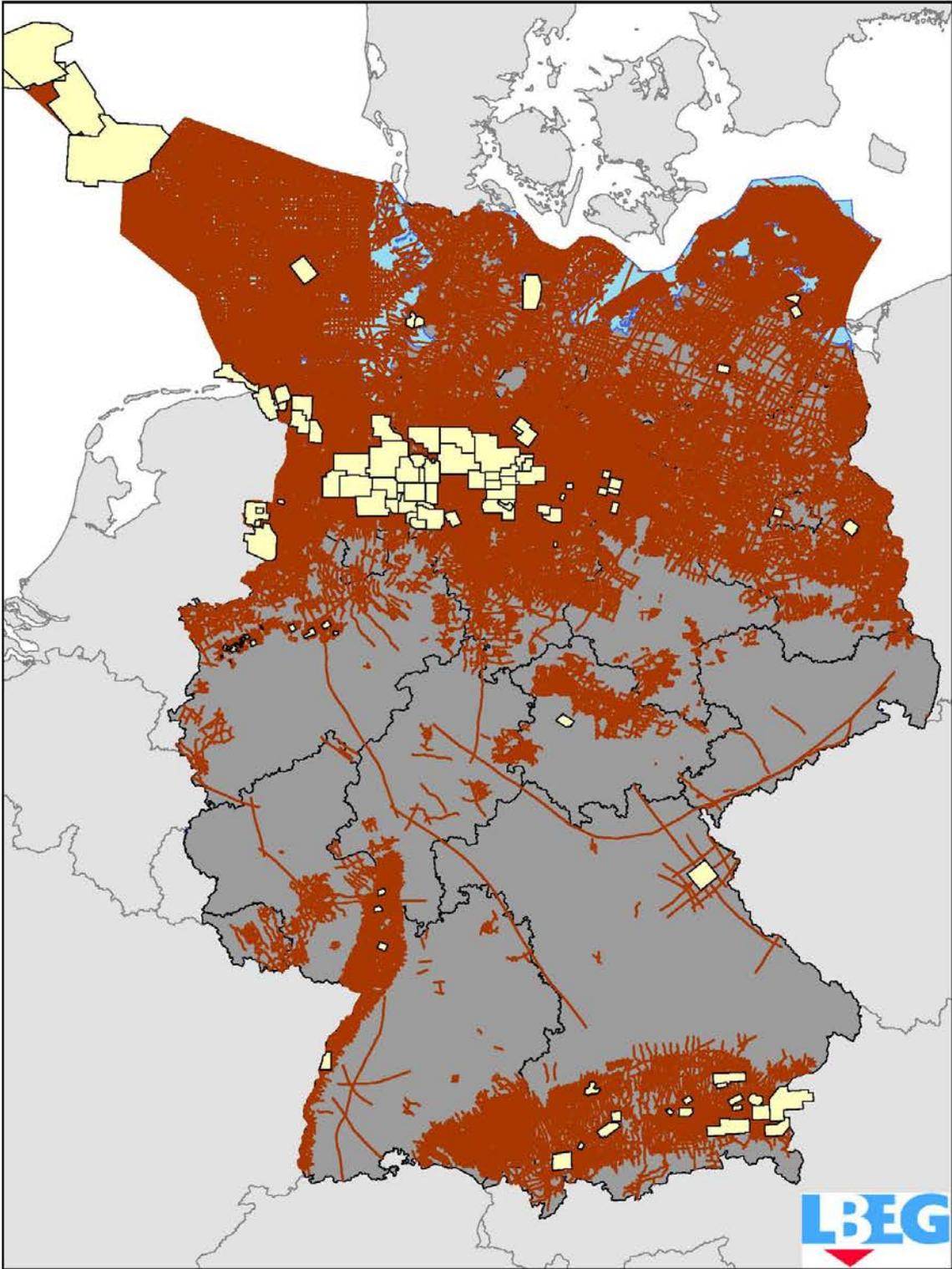
Anlage 3:

Beispiele öffentlich zugänglicher Geodaten und Leitfaden für die Experteninterviews

Anlage 3.1

2D- und 3D-Seismik des KW-FIS des LBEG

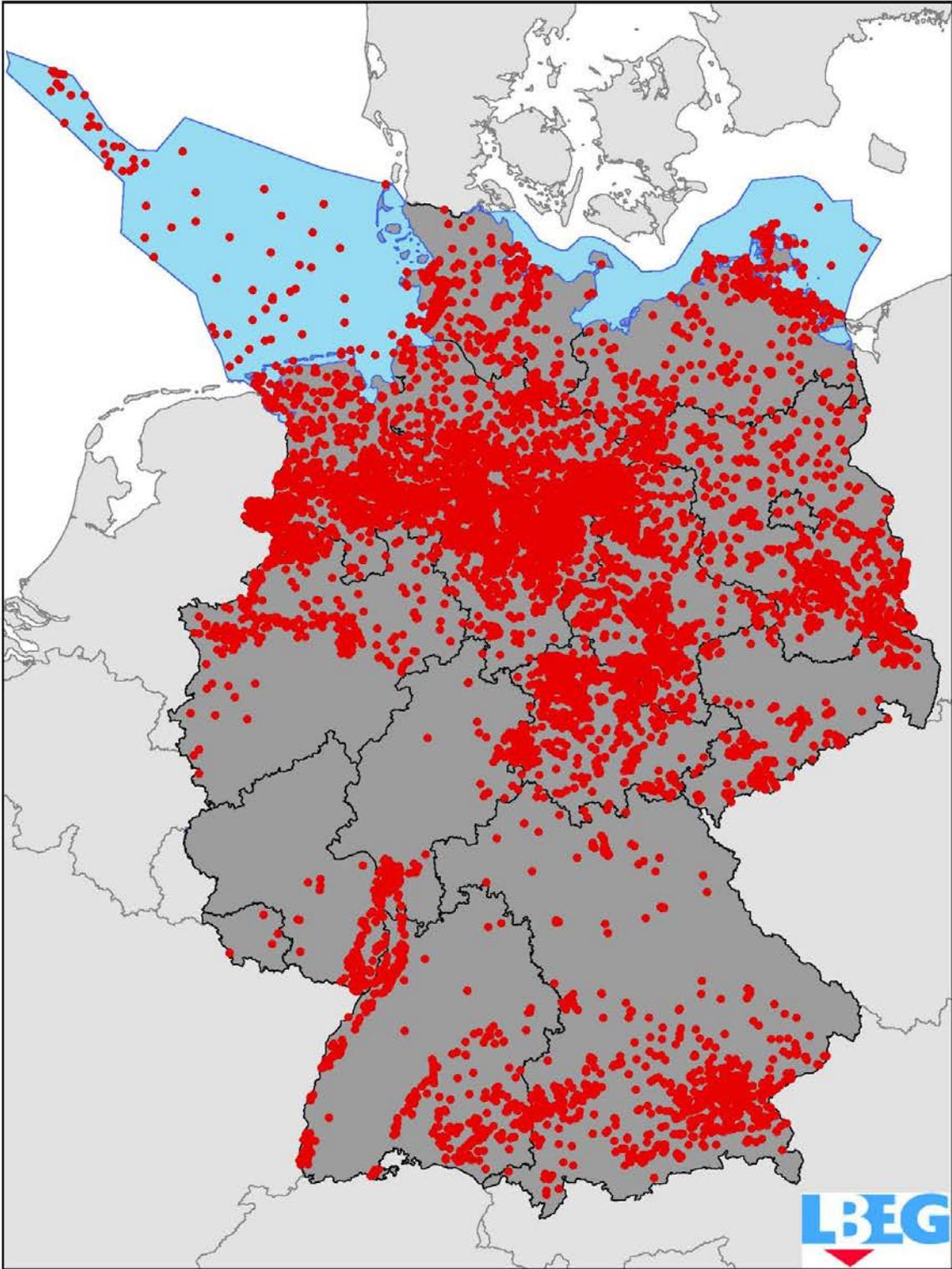
2D- und 3D-Seismik des KW-FIS des LBEG



Anlage 3.2

Bohrungen des KW-FIS des LBEG

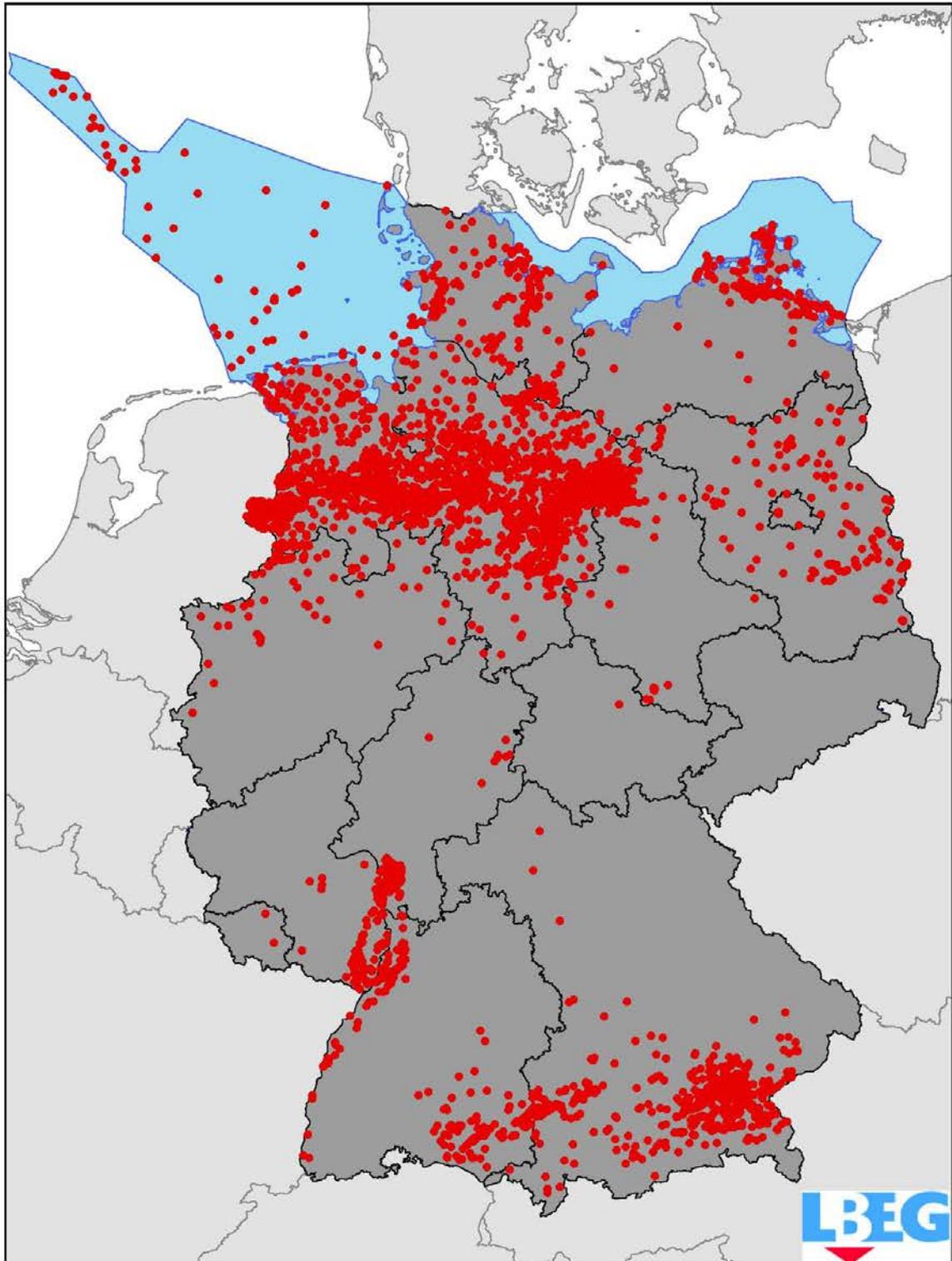
Bohrungen des KW-FIS des LBEG



Anlage 3.3

Bohrungen mit Abweichdaten des KW-FIS des LBEG

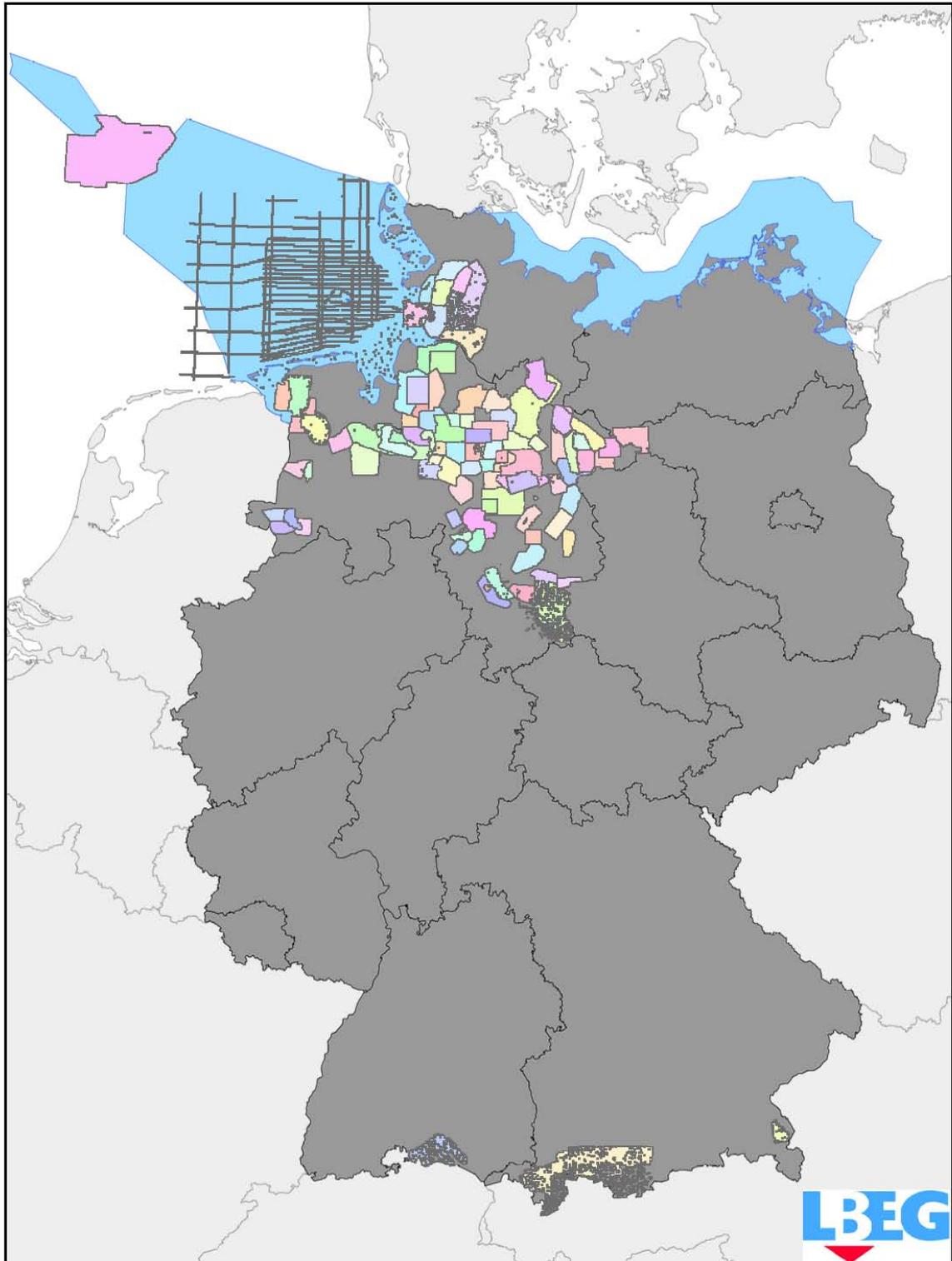
Bohrungen mit Abweichdaten des KW-FIS des LBEG



Anlage 3.4

Gravimetriedaten des KW-FIS des LBEG

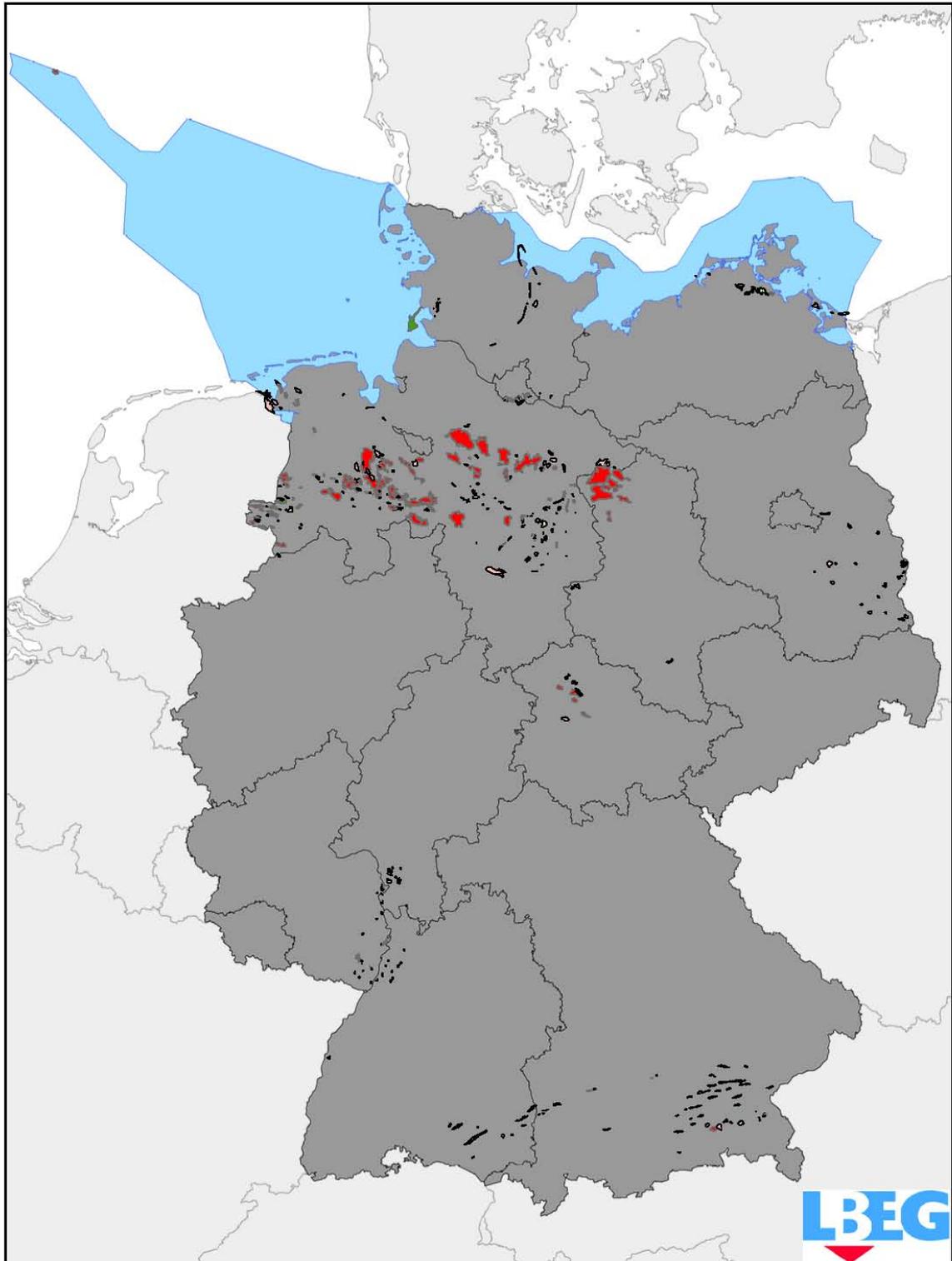
Gravimetrie-Messungen des KW-FIS des LBEG



Anlage 3.5

Erdöl- und Erdgasfelder des KW-FIS des LBEG

Erdöl- und Erdgasfelder des KW-FIS des LBEG



Anlage 3.6

Leitfaden zur Expertenbefragung

GESPRÄCHSLEITFADEN

1. Einleitung

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) untersuchen wir zum Vorhaben „Unterirdische Raumplanung - Vorschläge des Umweltschutzes zur Verbesserung der über- und unterirdischen Informationsgrundlagen, zur Ausgestaltung des Planungsinstrumentariums und zur nachhaltigen Lösung von Nutzungskonflikten“ (FKZ: 3711 16 103 1), wie eine unterirdische Raumplanung aussehen kann. G.E.O.S. übernimmt dabei die Aufgaben des Teilvorhaben 1 – Geologische Grundlagen.

Bisher wurden unterirdische Nutzungen charakterisiert und hinsichtlich ihrer Konkurrenz im unterirdischen Raum analysiert. Ziel des Vorhabens soll eine unterirdische Raumplanung sein, mit welcher zusätzlich zur Raumplanung an der Erdoberfläche nun auch unterirdische Räume ausgehalten werden sollen. Im aktuellen Arbeitspaket beschäftigen wir uns mit den Daten zur Geologie, welche als Entscheidungsgrundlage benötigt werden. Hier versuchen wir Fragen zur Strukturierung der Datenhaltung, zur Verfügbarkeit von Daten und Fragen zu deren Qualität der Daten zu beantworten. Wir führen eine Recherche durch, die mithilfe von Experteninterviews in zwei Bundesländern einen Überblick zur Datenlage in Deutschland ergeben soll. Unter anderem ist auch zu klären, welche Rechtsvorschriften/Vorschriften (bzgl. der Geodatenlage) der Raumplanung Entscheidungen verhindern oder ermöglichen.

Obwohl es im Vorhaben grundsätzlich um alle für eine unterirdische Raumplanung relevanten Daten geht, sind Bohrungen zusammen mit den geophysikalischen, geochemischen, mineralogischen und petrophysikalischen Untersuchungen sowie geophysikalische Untersuchungen (speziell Reflexionsseismik) des tiefen geologischen Untergrundes (>100 m) von besonderer Bedeutung.

2. Fragenteil

A Datenhaltung und Datenstruktur

- Wie ist die Datengewinnung und Datenhaltung geologischer Daten an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) organisiert und strukturiert? Sind hier Unterschiede zwischen Alt- und Neudaten festzustellen?
- Wie und auf welcher Grundlage werden welche aktuellen geologischen Untersuchungsergebnisse an die BGR übermittelt?
- Wie und welche Daten werden speziell von den Staatlich Geologischen Diensten an die BGR übermittelt? Gibt es gesetzliche Grundlagen für eine Übermittlung?
- Welche gesetzlichen Grundlagen ermöglichen den Datenzugang und die Recherche? Welche möglichen Einschränkungen der Nutzbarkeit resultieren daraus?

B Datencharakterisierung

- Welche Art von Daten werden gespeichert? Sind dies öffentliche und/oder private Daten?
- Werden sämtliche Detailinformationen oder nur Metadaten gespeichert und zur Verfügung gestellt?

- Wie werden die Daten gespeichert (digital, analog, zentrale Datenbank)?
- Inwiefern werden auch aus den Primärdaten abgeleitete Ergebnisse (Studien, interpretierte Schnitte, Strukturkarten, 3D-Modelle, etc.) beim BGR verwaltet?
- Welche Kartengrundlagen zur unterirdischen Raumplanung bzw. zu Daten, die entsprechende Informationen dafür beinhalten sind derzeit für Deutschland vorhanden und welche werden erarbeitet?